Data Center: Talent dan Cost

Onno W. Purbo
onno@indo.net.id
onno@itts.ac.id
Twitter onnowpurbo

Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS)
Dinas KOMINFO Tangerang Selatan
OnnoCenter
2026

Lisensi: Karya ini dilisensikan di bawah **Creative Commons Attribution (CC BY) 4.0 International**. Anda bebas menggunakan, membagikan, dan mengadaptasi karya ini untuk tujuan apa pun, termasuk komersial, dengan tetap mencantumkan atribusi yang layak kepada penulis.

Disclaimer: Buku ini disusun untuk tujuan edukasi, dokumentasi, dan refleksi publik berdasarkan sumber-sumber yang dianggap kredibel pada saat penulisan. Penulis telah berupaya menjaga akurasi, namun sangat mungkin masih terdapat kekurangan atau kekeliruan; karena itu, buku ini tidak dimaksudkan sebagai satu-satunya rujukan yang final, dan penulis terbuka terhadap koreksi serta masukan yang membangun

Cloud Data Center yang sehat bukan hanya yang teknologinya canggih, tetapi yang SDM-nya siap, biayanya terukur, kapasitasnya terencana, operasinya disiplin, dan setiap rupiah investasinya dapat dipertanggungjawabkan.

Kata Pengantar

Cloud Data Center bukan lagi sekadar ruang server, tetapi **platform layanan digital** yang menentukan kecepatan, efisiensi, keamanan, dan daya saing organisasi. Di balik teknologi cloud, terdapat dua faktor yang sering kurang diperhatikan: **kesiapan SDM** dan **kendali biaya**. Tanpa tim yang tepat, struktur tanggung jawab yang jelas, capacity planning yang disiplin, serta perhitungan TCO, OPEX, unit cost, dan energy cost yang akurat, Cloud Data Center mudah berubah menjadi pusat biaya yang sulit dikendalikan.

Buku ini disusun untuk membantu profesional Data Center, Cloud Architect, Infrastructure Manager, Network Engineer, Facility Engineer, Security Engineer, Cost Analyst, Procurement, Finance Partner, dan pengambil keputusan memahami Cloud Data Center secara lebih utuh: **sebagai sistem layanan, sistem operasi, sistem biaya, dan sistem risiko**. Pembahasan dibuat praktis, tajam, dan langsung dapat digunakan melalui template, checklist, rumus, roadmap, serta prompt AI.

Harapannya, buku ini dapat menjadi pegangan untuk merancang Cloud Data Center yang **SDM-nya siap, biayanya terukur, kapasitasnya terencana, operasinya disiplin, dan investasinya dapat dipertanggungjawabkan**.

Jakarta, Mei 2026
Onno W. Purbo

Executive Summary

Cloud Data Center harus dipahami bukan sebagai ruang server modern, tetapi sebagai **platform layanan digital** yang menentukan kecepatan bisnis, efisiensi operasi, keamanan data, kesiapan audit, dan kemampuan organisasi mengelola biaya teknologi secara berkelanjutan. Buku ini menekankan bahwa keberhasilan Cloud Data Center tidak hanya ditentukan oleh server, storage, network, virtualisasi, atau platform cloud, tetapi oleh dua fondasi utama: **talent yang siap** dan **cost control yang disiplin**. Tanpa struktur organisasi yang jelas, role kritikal seperti Facility Engineer, Network Engineer, Cloud Engineer, Storage Engineer, Security Engineer, Cost Analyst, dan Service Desk akan bekerja reaktif, tidak terukur, dan rawan menjadi *single point of failure*. Tanpa perhitungan biaya yang lengkap, Cloud Data Center mudah berubah menjadi pusat biaya gelap: VM dibiarkan hidup, storage membesar, snapshot menumpuk, backup tidak terkendali, listrik naik, dan kapasitas habis tanpa alasan yang jelas. Karena itu, organisasi perlu menyusun *service catalog*, RACI, *skill matrix*, capacity planning, TCO, CAPEX, OPEX, *unit cost*, *showback*, *chargeback*, dan roadmap 3–5 tahun secara terpadu. Pembahasan dalam buku ini diarahkan agar professional Data Center mampu menghitung **biaya per VM, biaya per vCPU, biaya per GB storage, biaya energi tahunan, utilisasi resource, PUE, ROI, payback period, dan budget variance** sebagai dasar keputusan manajemen. Buku ini juga menekankan pentingnya monitoring, DCIM, automation, audit cost control, serta penggunaan tool *open source* dan Prompt AI untuk mempercepat analisis, dokumentasi, dan pengendalian operasi. Kesimpulan strategisnya jelas: **Cloud Data Center yang sehat bukan yang paling mahal atau paling canggih, tetapi yang layanannya jelas, SDM-nya kompeten, kapasitasnya terencana, biayanya transparan, energinya efisien, risikonya terkendali, dan setiap rupiah investasinya dapat dipertanggungjawabkan.**

Daftar Isi

Kata Pengantar **4**
Executive Summary **5**
Daftar Isi **6**
Bab 1. Cloud Data Center sebagai Mesin Bisnis Digital **17**
1.1 Dari Server Room ke Cloud Data Center 18
1.2 Cloud Data Center Bukan Sekadar Virtualisasi 19
Komponen Cloud Data Center yang Harus Ada 20
1.3 Cloud Data Center sebagai Pusat Biaya dan Pusat Nilai 21
Pergeseran Cara Mengukur Data Center 21
1.4 Nilai Bisnis Cloud Data Center 22
1. Kecepatan layanan 22
2. Efisiensi resource 23
3. Standarisasi layanan 23
4. Pengendalian risiko 24
5. Transparansi biaya 24
1.5 Arsitektur Konseptual Cloud Data Center 25
1.6 Peran Service Catalog 26
1.7 Peran Metering, Showback, dan Chargeback 27
Metering 27
Showback 27
Chargeback 27
1.8 Peran Open Source dan Prompt AI 28
Prompt AI — Menilai Kematangan Cloud Data Center 29
Materi Praktek **30**
Checklist Posisi Strategis Cloud Data Center 30
Template Ringkas: Pemetaan Layanan Cloud Data Center 31
Ringkasan Bab 1 31
Checklist Akhir Bab 1 32
Bab 2. Model Layanan Cloud Data Center dan Dampaknya ke SDM & Biaya 33
2.1 Model Layanan Cloud Data Center **34**
2.1.1 Infrastructure as a Service — IaaS 34
2.1.2 Platform as a Service — PaaS 35
2.1.3 Backup as a Service — BaaS 36
2.1.4 Disaster Recovery as a Service — DRaaS 37
2.1.5 Storage as a Service — STaaS 38
2.1.6 Database as a Service — DBaaS 39
2.1.7 Network as a Service — NaaS 40
2.1.8 Security as a Service — SECaaS 41
2.1.9 Managed Private Cloud 42
2.1.10 Hybrid Cloud Operations 43
2.2 Service Catalog **43**
2.2.1 Isi Minimum Service Catalog 44

2.2.2 Contoh Struktur Service Catalog....45
2.2.3 Kesalahan Umum dalam Service Catalog....45
2.3 Dampak Model Layanan terhadap SDM....46
2.3.1 Peran Kunci dalam Cloud Data Center....46
2.3.2 Dampak Tiap Model Layanan ke Kebutuhan SDM....47
2.3.3 Struktur Kompetensi Minimum....48
Kompetensi teknis....48
Kompetensi operasional....48
Kompetensi finansial....48
2.4 Dampak Model Layanan terhadap Biaya....49
2.4.1 Komponen Biaya Cloud Data Center....49
2.4.2 Biaya Langsung dan Tidak Langsung....50
2.4.3 Contoh Dampak Biaya per Model Layanan....51
2.4.4 Prinsip Unit Cost....52
Materi Praktik....53
Template Service Catalog Sederhana....53
Template Detail Layanan....54
Checklist Evaluasi Model Layanan....55
Prompt AI — Membuat Service Catalog Cloud Data Center....56
Prompt AI — Analisis Dampak SDM dan Biaya....57
Studi Kasus Singkat....58
Ringkasan Bab 2....58
Checklist Akhir Bab 2....59
Bab 3. Perencanaan Organisasi dan Talent Cloud Data Center....60
3.1 Prinsip Desain Organisasi....60
3.1.1 Pemilik Layanan....61
3.1.2 Pemilik Platform....62
3.1.3 Pemilik Facility....62
3.1.4 Pemilik Security....63
3.1.5 Pemilik Biaya....64
3.1.6 Proses Eskalasi....64
3.2 Struktur Tim Minimum....65
3.2.1 Peran Minimum....66
3.2.2 Struktur Organisasi Minimum....67
A. Manajemen dan Tata Kelola....67
B. Facility dan Infrastruktur Fisik....67
C. Infrastruktur TI....67
D. Platform, Security, dan Automation....67
E. Operasi Layanan dan Biaya....68
3.2.3 Model Tim Berdasarkan Skala....68
3.2.4 Risiko Jika Tim Terlalu Kecil....69
3.3 RACI Matrix....70
3.3.1 Contoh RACI Operasi Cloud Data Center....70
3.3.2 Kesalahan Umum RACI....71

3.3.3 RACI untuk Insiden Kritis..... 71
3.4 Skill Matrix..... 72
3.4.1 Contoh Skill Matrix Inti.....72
3.4.2 Level Kompetensi.....73
3.4.3 Skill Matrix per Role..... 74
3.4.4 Risiko Kompetensi.....75
3.5 Perencanaan Talent Berbasis Layanan.....76
3.5.1 Contoh Pemetaan Layanan ke Role..... 77
3.5.2 Formula Sederhana Kebutuhan SDM..... 78
3.6 Integrasi Tool Open Source untuk Organisasi dan Talent.....79
Materi Praktik.....80
Step-by-Step Membuat Talent Plan.....80
Langkah 1 — Daftar Semua Layanan Cloud.....80
Langkah 2 — Daftar Semua Aktivitas Operasi.....80
Langkah 3 — Tentukan Role yang Dibutuhkan..... 81
Langkah 4 — Buat RACI..... 81
Langkah 5 — Buat Skill Matrix..... 82
Langkah 6 — Identifikasi Gap Kompetensi..... 82
Langkah 7 — Tentukan Training.....83
Langkah 8 — Tentukan Kebutuhan Hiring.....83
Langkah 9 — Hitung Biaya SDM Tahunan.....84
Langkah 10 — Masukkan ke TCO..... 85
Prompt AI — Membuat Struktur Organisasi Cloud Data Center..... 86
Prompt AI — Membuat RACI Matrix..... 87
Prompt AI — Membuat Skill Matrix..... 88
Studi Kasus Singkat..... 89
Ringkasan Bab 3.....90
Checklist Akhir Bab 3..... 90
Bab 4. Kompetensi Inti: Facility, Network, Compute, Storage, Security, Cloud Ops.....91
4.1 Facility Competency.....91
4.1.1 Power Chain.....92
4.1.2 UPS dan Generator.....93
4.1.3 Cooling dan Airflow..... 94
4.1.4 Sensor, Fire Suppression, dan Access Control.....94
4.1.5 Facility Capacity..... 95
4.2 Network Competency.....96
4.2.1 IP Addressing dan Segmentasi.....96
4.2.2 VLAN, VXLAN, dan Overlay.....97
4.2.3 Routing, Firewall, Load Balancer, dan DCI..... 98
4.2.4 Monitoring Network..... 99
4.3 Compute dan Virtualization Competency.....100
4.3.1 Server Lifecycle.....100
4.3.2 Hypervisor dan VM Provisioning..... 101
4.3.3 HA Cluster dan Resource Overcommit..... 102

4.3.4 Template, Image Management, dan Patching..... 103
4.4 Storage Competency..... 104
4.4.1 Block, Object, dan File Storage..... 104
4.4.2 Snapshot dan Backup..... 105
4.4.3 Replication dan Retention..... 106
4.4.4 Storage Performance..... 106
4.5 Security dan Compliance Competency..... 107
4.5.1 IAM dan Privileged Access..... 107
4.5.2 Network Segmentation dan Zero Trust..... 108
4.5.3 Vulnerability Management dan Audit Log..... 109
4.5.4 Incident Response dan Compliance..... 110
4.6 Kompetensi Cloud Ops..... 111
Materi Praktik..... 113
Template Matriks Kompetensi Tim..... 113
Checklist Kompetensi Minimum per Domain..... 114
A. Checklist Facility..... 114
B. Checklist Network..... 114
C. Checklist Compute dan Virtualisasi..... 115
D. Checklist Storage..... 115
E. Checklist Security dan Compliance..... 116
Prompt AI — Membuat Matriks Kompetensi Cloud Data Center..... 117
Prompt AI — Audit Gap Kompetensi..... 118
Prompt AI — Membuat Rencana Training Teknis..... 119
Studi Kasus Singkat..... 120
Ringkasan Bab 4..... 121
Checklist Akhir Bab 4..... 122
Bab 5. Capacity Planning dan Resource Utilization..... 123
5.1 Mengapa Capacity Planning Penting..... 123
5.1.1 Kapasitas Bukan Hanya Jumlah Server..... 124
5.1.2 Kapasitas Menganggur Adalah Biaya..... 124
5.1.3 Kapasitas Kurang Menjadi Risiko Bisnis..... 125
5.2 Komponen Kapasitas Cloud..... 125
5.2.1 Kapasitas Rack..... 126
5.2.2 Kapasitas Power..... 127
5.2.3 Kapasitas Cooling..... 127
5.2.4 Kapasitas Server, CPU, dan RAM..... 128
5.2.5 Kapasitas Storage dan IOPS..... 129
5.2.6 Kapasitas Network..... 130
5.2.7 Kapasitas Backup dan DR..... 131
5.2.8 Kapasitas SDM..... 131
5.3 Utilisasi Resource..... 132
5.3.1 CPU dan Memory Utilization..... 132
5.3.2 Storage Utilization..... 133
5.3.3 Network Throughput..... 134

5.3.4 VM Density dan Overcommit Ratio..... 135
5.3.5 Orphaned VM dan Idle VM..... 136
5.3.6 Snapshot Sprawl dan Backup Growth..... 137
5.4 Forecasting Kapasitas 3–5 Tahun..... 138
5.4.1 Formula Dasar Forecasting..... 138
5.4.2 Forecasting VM..... 139
5.4.3 Forecasting Storage dan Backup..... 139
5.4.4 Forecasting Power dan Cooling..... 140
5.4.5 Forecasting SDM..... 141
5.5 Tool Open Source untuk Capacity Planning..... 142
Materi Praktik..... 143
Template Capacity Planning..... 143
Template Utilisasi Resource..... 144
Langkah Praktis Capacity Planning 90 Hari..... 145
Langkah 1 — Kumpulkan Data Dasar..... 145
Langkah 2 — Pisahkan Kapasitas Fisik dan Kapasitas IT..... 145
Langkah 3 — Hitung Utilisasi..... 146
Langkah 4 — Identifikasi Bottleneck..... 146
Langkah 5 — Buat Forecast 3 Tahun..... 146
Langkah 6 — Buat Rencana Aksi..... 147
Prompt AI — Analisis Capacity Planning..... 148
Prompt AI — Deteksi Resource Boros..... 149
Prompt AI — Forecasting 3–5 Tahun..... 150
Studi Kasus Singkat..... 151
Ringkasan Bab 5..... 152
Checklist Akhir Bab 5..... 152
Bab 6. Cost Planning: CAPEX, OPEX, TCO, dan Lifecycle Cost..... 154
6.1 CAPEX..... 155
6.1.1 CAPEX Fasilitas..... 156
6.1.2 CAPEX Power..... 157
6.1.3 CAPEX Cooling..... 158
6.1.4 CAPEX IT: Server, Storage, Network, Security..... 159
6.1.5 CAPEX Software dan Implementasi..... 160
6.1.6 Commissioning sebagai CAPEX yang Wajib..... 161
6.2 OPEX..... 162
6.2.1 OPEX Listrik..... 163
6.2.2 OPEX Maintenance dan Spare Part..... 164
6.2.3 OPEX Support Vendor dan Konektivitas..... 165
6.2.4 OPEX SDM dan Training..... 166
6.2.5 OPEX Security Operation dan Audit..... 167
6.2.6 OPEX Monitoring Tools..... 167
6.3 Lifecycle Cost..... 168
6.3.1 Umur Komponen Tidak Sama..... 168
6.3.2 Biaya Refresh..... 169

6.3.3 Biaya Decommissioning....170
6.3.4 Lifecycle Cost dan Sustainability....170
6.4 TCO Cloud Data Center.... 171
6.4.1 Rumus TCO yang Lebih Lengkap....172
6.4.2 Contoh TCO 5 Tahun.... 173
6.4.3 TCO per Layanan....174
6.4.4 TCO dan Showback/Chargeback....175
6.5 Resiko Kesalahan Cost Planning.... 176
6.6 Praktik Open Source untuk Mengendalikan Biaya....177
Materi Praktik....178
Template TCO 5 Tahun.... 178
Template Perencanaan Biaya.... 1
Template Lifecycle Cost.... 1
Langkah Praktis Menghitung TCO 5 Tahun.... 1
Langkah 1 — Tentukan Ruang Lingkup.... 1
Langkah 2 — Pisahkan CAPEX dan OPEX.... 1
Langkah 3 — Hitung OPEX Tahunan....1
Langkah 4 — Masukkan Growth....1
Langkah 5 — Masukkan Refresh....1
Langkah 6 — Hitung TCO....1
Langkah 7 — Turunkan ke Unit Cost.... 1
Prompt AI — Menghitung TCO 5 Tahun....1
Prompt AI — Analisis CAPEX vs OPEX....1
Prompt AI — Deteksi Biaya Tersembunyi.... 1
Studi Kasus Singkat.... 1
Ringkasan Bab 6....1
Checklist Akhir Bab 6....1
Bab 7. Energy Cost, PUE, Sustainability, dan Efisiensi Operasional....1
7.1 Energi sebagai Biaya Operasional Utama.... 1
7.1.1 Mengapa Biaya Energi Sering Membengkak....1
7.1.2 Energi sebagai Bagian dari OPEX dan TCO....1
7.1.3 Energi dan Utilisasi Resource....1
7.2 PUE dan Efisiensi Infrastruktur.... 1
7.2.1 Apa yang Diukur PUE.... 1
7.2.2 PUE Tidak Boleh Disalahgunakan.... 1
7.2.3 Data yang Harus Dikumpulkan untuk PUE.... 1
7.3 Energy Cost Formula.... 1
7.3.1 Contoh Perhitungan.... 1
7.3.2 Dampak Perubahan PUE terhadap Biaya....1
7.3.3 Dampak Pengurangan IT Load....1
7.3.4 Biaya Energi per Layanan....1
7.4 Sustainability dan Cost....1
7.4.1 Optimasi Cooling....1
7.4.2 Free Cooling....1

7.4.3 Pemanfaatan Panas Buangan..... 1
7.4.4 Energi Terbarukan dan Carbon Awareness.....1
7.5 Efisiensi Operasional.....1
7.5.1 Rutinitas Harian.....1
7.5.2 Rutinitas Mingguan.....1
7.5.3 Rutinitas Bulanan..... 1
7.5.4 Rutinitas Tahunan.....1
7.6 Tool Open Source untuk Monitoring Energi dan Efisiensi..... 1
Materi Praktek..... 1
Checklist Efisiensi Energi..... 1
Template Laporan Energi Bulanan..... 1
Template Perhitungan Biaya Energi..... 1
Langkah Praktis Efisiensi Energi 90 Hari..... 1
Langkah 1 — Buat Baseline Energi..... 1
Langkah 2 — Temukan Pemborosan IT.....1
Langkah 3 — Optimasi Airflow.....1
Langkah 4 — Review Cooling..... 1
Langkah 5 — Hitung Dampak Biaya..... 1
Langkah 6 — Laporkan ke Manajemen..... 1
Prompt AI — Analisis Efisiensi Energi.....1
Prompt AI — Simulasi Dampak PUE terhadap Biaya..... 1
Prompt AI — Deteksi Pemborosan Energi Cloud.....1
Studi Kasus Singkat..... 1
Ringkasan Bab 7..... 1
Checklist Akhir Bab 7..... 1
Bab 8. Chargeback, Showback, Pricing, dan Unit Economics Cloud Service..... 1
8.1 Mengapa Chargeback dan Showback Penting..... 1
8.1.1 Perbedaan Showback dan Chargeback.....1
8.1.2 Mengapa Pengguna Perlu Melihat Biaya.....1
8.1.3 Hubungan dengan Service Catalog..... 1
8.2 Unit Cost Cloud Service..... 1
8.2.1 Prinsip Dasar Unit Economics.....1
8.2.2 Data yang Dibutuhkan.....1
8.2.3 Biaya per vCPU/Bulan.....1
8.2.4 Biaya per GB RAM/Bulan.....1
8.2.5 Biaya per GB Storage/Bulan..... 1
8.2.6 Biaya Backup per GB/Bulan.....1
8.2.7 Biaya Network per Mbps..... 1
8.2.8 Biaya VM per Bulan.....1
8.2.9 Biaya Tenant per Bulan..... 1
8.3 Pricing Internal dan Eksternal..... 1
8.3.1 Cost Recovery.....1
8.3.2 Cost Plus Margin..... 1
8.3.3 Subsidi Strategis..... 1

8.3.4 Tiered Pricing..... 1
8.3.5 Reserved Capacity..... 1
8.3.6 Pay-as-You-Use..... 1
8.3.7 Premium SLA..... 1
8.4 SLA dan Biaya..... 1
8.4.1 Mengapa SLA Mahal..... 1
8.4.2 Contoh Tier Layanan Berbasis SLA..... 1
8.4.3 RTO/RPO dan Biaya..... 1
8.5 Model Alokasi Biaya..... 1
8.5.1 Biaya Langsung..... 1
8.5.2 Biaya Bersama..... 1
8.5.3 Metode Alokasi Biaya Bersama..... 1
8.6 Tool Open Source untuk Metering dan Cost Visibility..... 1
Materi Praktik..... 1
Contoh Hitung Biaya VM per Bulan..... 1
Template Unit Cost Cloud Service..... 1
Template Showback Report..... 1
Template Pricing Service Catalog..... 1
Langkah Praktis Membangun Showback 90 Hari..... 1
Langkah 1 — Tentukan Layanan yang Akan Dihitung..... 1
Langkah 2 — Tentukan Owner Resource..... 1
Langkah 3 — Kumpulkan Data Konsumsi..... 1
Langkah 4 — Hitung Unit Cost Awal..... 1
Langkah 5 — Buat Laporan Showback..... 1
Langkah 6 — Diskusi dengan Unit Pengguna..... 1
Langkah 7 — Siapkan Transisi ke Chargeback..... 1
Prompt AI — Menghitung Unit Cost..... 1
Prompt AI — Membuat Showback Report..... 1
Prompt AI — Mendesain Pricing Internal..... 1
Prompt AI — Analisis SLA dan Biaya..... 1
Studi Kasus Singkat..... 1
Ringkasan Bab 8..... 1
Checklist Akhir Bab 8..... 1
Bab 9. Operasi Harian, Monitoring, Automation, dan Audit Cost Control..... 1
9.1 Operasi Harian Cloud Data Center..... 1
9.1.1 Aktivitas Harian..... 1
9.1.2 Rutinitas Harian, Mingguan, Bulanan..... 1
Harian..... 1
Mingguan..... 1
Bulanan..... 1
9.1.3 Operasi Harian sebagai Cost Control..... 1
9.2 Monitoring dan DCIM..... 1
9.2.1 Monitoring Bukan Hanya Alarm..... 1
9.2.2 Dashboard Minimum Cloud Data Center..... 1

Dashboard Operasi 1
Dashboard Kapasitas 1
Dashboard Biaya 1
Dashboard Audit 1
9.2.3 Data yang Harus Dimonitor 1
9.2.4 DCIM sebagai Source of Truth 1
9.3 Automation untuk Mengurangi Biaya 1
9.3.1 Prinsip Automation 1
9.3.2 Automation untuk Provisioning VM 1
9.3.3 Automation untuk Shutdown VM Idle 1
9.3.4 Automation untuk Resize VM 1
9.3.5 Automation untuk Backup Policy 1
9.3.6 Automation untuk Cost Alert dan Capacity Alert 1
9.4 Audit Cost Control 1
9.4.1 Bukti Audit yang Harus Ada 1
9.4.2 Audit Pemborosan 1
9.4.3 Audit SLA dan Biaya 1
9.4.4 Audit Tagging dan Ownership 1
9.5 Integrasi Operasi, Monitoring, Automation, dan Audit 1
Materi Praktik 1
Checklist Audit Biaya Bulanan 1
Template Laporan Operasi Harian 1
Template Dashboard Cost Control 1
Contoh Workflow Automation: VM Idle 1
Prompt AI — Audit Biaya Bulanan 1
Prompt AI — Rekomendasi Automation Cost Control 1
Prompt AI — Review Dashboard Monitoring 1
Studi Kasus Singkat 1
Ringkasan Bab 9 1
Checklist Akhir Bab 9 1
Bab 10. Roadmap Talent & Cost 3–5 Tahun 1
10.1 Roadmap Talent 1
10.1.1 Tahun 1 — Stabilize 1
Output Tahun 1 1
10.1.2 Tahun 2 — Standardize 1
Output Tahun 2 1
10.1.3 Tahun 3 — Optimize 1
Output Tahun 3 1
10.1.4 Tahun 4–5 — Scale 1
Output Tahun 4–5 1
10.2 Roadmap Cost 1
10.2.1 Tahap 1 — Inventaris Aset 1
10.2.2 Tahap 2 — Baseline Biaya 1
10.2.3 Tahap 3 — Unit Cost 1

10.2.4 Tahap 4 — Showback..... 1
10.2.5 Tahap 5 — Chargeback..... 1
10.2.6 Tahap 6 — Optimization dan Rightsizing..... 1
10.2.7 Tahap 7 — Lifecycle Refresh..... 1
10.2.8 Tahap 8 — Sustainability Target..... 1
10.3 KPI Talent dan Cost..... 1
10.3.1 KPI Talent..... 1
10.3.2 KPI Cost..... 1
10.3.3 KPI Capacity..... 1
10.3.4 KPI Service..... 1
10.3.5 KPI Sustainability..... 1
10.4 Roadmap Implementasi 3 Tahun..... 1
Template Roadmap 3 Tahun..... 1
Roadmap Detail Tahun 1 — Stabilize..... 1
Roadmap Detail Tahun 2 — Standardize..... 1
Roadmap Detail Tahun 3 — Optimize..... 1
10.5 Roadmap Implementasi 5 Tahun..... 1
Tahun 4 — Scale..... 1
Tahun 5 — Transform..... 1
10.6 Tata Kelola Roadmap..... 1
10.6.1 Governance Board..... 1
10.6.2 Ritme Review Roadmap..... 1
10.6.3 Prinsip Prioritas..... 1
10.7 Tool Open Source untuk Roadmap..... 1
Materi Praktik..... 1
Template Roadmap 3 Tahun..... 1
Template Roadmap 5 Tahun..... 1
Template KPI Roadmap..... 1
Template Resiko Roadmap..... 1
Langkah Praktis Menyusun Roadmap 90 Hari..... 1
Langkah 1 — Kumpulkan Baseline..... 1
Langkah 2 — Tentukan Masalah Utama..... 1
Langkah 3 — Tentukan Target 3 Tahun..... 1
Langkah 4 — Tentukan KPI..... 1
Langkah 5 — Susun Prioritas Investasi..... 1
Langkah 6 — Presentasikan ke Manajemen..... 1
Prompt AI — Membuat Roadmap 3 Tahun..... 1
Prompt AI — Membuat Roadmap 5 Tahun..... 1
Prompt AI — Review Kelayakan Roadmap..... 1
Studi Kasus Singkat..... 1
Roadmap 3 Tahun..... 1
Quick Wins 90 Hari..... 1
Risiko Jika Tidak Dilakukan..... 1
Ringkasan Bab 10..... 1

Checklist Akhir Bab 10 1
Lampiran A. Rumus Penting Cloud Data Center 1
Contoh Cepat Perhitungan Energi 1
Contoh Cepat Perhitungan TCO 1
Contoh Cepat Unit Cost 1
Lampiran B. Template Perencanaan SDM 1
Cara Menggunakan Template 1
Lampiran C. Template Perencanaan Biaya 1
Komponen yang Jangan Dilupakan 1
Lampiran D. Template Unit Cost Cloud Service 1
Formula Pendukung 1
Catatan Penggunaan 1
Lampiran E. Checklist Audit Talent & Cost 1
Lampiran F. 20 Prompt AI untuk Talent & Cost Cloud Data Center 1
1. Struktur Organisasi Minimum 1
2. RACI Operasi Cloud Private 1
3. Hitung TCO 5 Tahun 1
4. Template Service Catalog 1
5. Hitung Biaya Energi Tahunan 1
6. Model Chargeback 1
7. Template Unit Cost 1
8. Risiko Tim Cloud Terlalu Kecil 1
9. Roadmap Talent 3 Tahun 1
10. Checklist Audit Biaya 1
11. KPI Data Center Manager 1
12. KPI Cost Analyst Cloud 1
13. Skill Matrix 1
14. Laporan Bulanan Utilisasi Resource 1
15. Laporan Pemborosan VM Idle 1
16. Perhitungan Cost per VM 1
17. Analisis CAPEX vs OPEX 1
18. Checklist Rightsizing VM 1
19. Template Budget Variance 1
20. Executive Summary Pengajuan Investasi 1
Glossary 1
Referensi 1
Tentang Penulis 1

Bab 1. Cloud Data Center sebagai Mesin Bisnis Digital

Golden Rule: Cloud Data Center yang sehat bukan hanya yang mampu menjalankan server, tetapi yang mampu mengubah kapasitas, layanan, SDM, dan biaya menjadi nilai bisnis yang terukur.

Bab ini menjelaskan bahwa **Cloud Data Center bukan sekadar ruang server modern**, bukan pula sekadar kumpulan mesin virtual. Cloud Data Center adalah **platform layanan digital** yang menggabungkan fasilitas, jaringan, komputasi, penyimpanan, keamanan, otomasi, monitoring, katalog layanan, kapasitas, biaya, dan tata kelola.

Dalam konteks profesional, Cloud Data Center harus dapat menjawab lima pertanyaan strategis:

- **Layanan apa yang diberikan?**
- **Siapa pengguna layanan?**
- **Berapa biaya per layanan?**
- **Bagaimana kualitas layanan diukur?**
- **Bagaimana kapasitas, risiko, dan biaya dikendalikan?**

Definisi cloud modern menekankan akses jaringan yang mudah, *on-demand*, ke kumpulan sumber daya komputasi yang dapat dikonfigurasi, diprovisikan, dan dilepas dengan cepat dengan interaksi manajemen minimal. Karakter pentingnya mencakup *self-service*, akses jaringan luas, *resource pooling*, elastisitas cepat, dan layanan terukur. (C SRC)

Outline buku ini juga menegaskan bahwa Cloud Data Center harus dipahami sebagai proyek **organisasi, biaya, layanan, risiko, dan tata kelola**, bukan hanya proyek teknologi. Tujuan buku adalah membantu profesional merencanakan SDM, kompetensi, biaya, TCO, OPEX, CAPEX, *chargeback*, *capacity planning*, dan roadmap investasi secara realistis serta siap audit.

1.1 Dari Server Room ke Cloud Data Center

Pada masa lalu, banyak organisasi memulai infrastruktur digital dari *server room*. Ruangan ini biasanya berisi beberapa server fisik, perangkat jaringan, perangkat penyimpanan, UPS sederhana, pendingin ruangan, dan pengelolaan manual oleh tim TI. Model ini cukup untuk kebutuhan kecil, tetapi menjadi lemah ketika organisasi membutuhkan layanan yang cepat, aman, elastis, terukur, dan siap audit.

Cloud Data Center mengubah cara berpikir tersebut. Infrastruktur tidak lagi dilihat sebagai kumpulan perangkat, melainkan sebagai **kumpulan sumber daya layanan**. Server, storage, jaringan, keamanan, backup, dan monitoring harus dapat disediakan melalui proses yang jelas, standar, dan sebisa mungkin otomatis.

Perubahan utamanya adalah sebagai berikut:

Dari	Menjadi	Makna Bisnis
Server fisik	*Resource pool*	Kapasitas dapat dibagi dan digunakan lebih efisien
Pembelian perangkat	Penyediaan layanan	Unit bisnis meminta layanan, bukan membeli server
Provisioning manual	Otomasi	Waktu layanan lebih cepat dan konsisten
Silo teknologi	Platform terpadu	Tim facility, network, compute, storage, security, dan cloud ops bekerja dalam satu model operasi
Biaya tersembunyi	Biaya terukur	Finance dapat melihat biaya per layanan
Reaktif	Proaktif	Kapasitas, risiko, dan performa dipantau sebelum menjadi insiden

Catatan strategis: organisasi yang masih mengelola data center seperti ruang server akan sulit mengendalikan biaya cloud. Masalahnya bukan hanya teknologi, tetapi **cara kerja, struktur biaya, dan disiplin operasional**.

Dalam *server room*, pertanyaan yang sering muncul adalah: “server masih hidup atau tidak?” Dalam Cloud Data Center, pertanyaannya berubah menjadi: **layanan apa yang berjalan, siapa yang memakai, berapa utilisasinya, berapa biayanya, apa SLA-nya, dan apakah kapasitasnya cukup untuk tiga tahun ke depan?**

1.2 Cloud Data Center Bukan Sekadar Virtualisasi

Kesalahan umum dalam banyak organisasi adalah menyamakan Cloud Data Center dengan virtualisasi. Virtualisasi memang penting, tetapi hanya satu lapisan dari Cloud Data Center.

Virtualisasi memungkinkan satu server fisik menjalankan banyak mesin virtual. Namun Cloud Data Center menuntut lebih dari itu. Ia harus memiliki **katalog layanan, otomasi, pengukuran konsumsi, monitoring, keamanan, backup, pemulihan bencana, dan model biaya**.

Cloud Data Center minimal mencakup:

- **Compute pool**, yaitu kumpulan kapasitas CPU dan memori.
- **Storage pool**, yaitu kumpulan kapasitas penyimpanan.
- **Network pool**, yaitu kapasitas jaringan yang dapat dialokasikan.
- **Security service**, seperti segmentasi, firewall, kontrol akses, dan logging.
- **Orchestration**, yaitu otomasi penyediaan layanan.
- **Monitoring**, untuk melihat performa, kapasitas, dan insiden.
- **Backup**, untuk perlindungan data.
- **Disaster recovery**, untuk keberlanjutan layanan saat gangguan besar.
- **Service catalog**, yaitu daftar layanan yang dapat diminta pengguna.
- **Metering**, yaitu pengukuran pemakaian resource.
- **Chargeback/showback**, yaitu mekanisme penghitungan atau pelaporan biaya.

Zhang dan Chen menjelaskan bahwa Cloud DCN modern mencakup domain infrastruktur, *resource pools*, *service domain*, *application domain*, dan *management domain*. Di dalamnya terdapat *service catalog*, *orchestration*, *scheduling*, *metering*, *charging*, monitoring, alarm, dan DR management.

OpenStack sebagai platform *open source* untuk infrastruktur cloud juga menunjukkan bahwa cloud tidak hanya bicara mesin virtual. OpenStack terdiri dari komponen untuk layanan infrastruktur cloud seperti komputasi, jaringan, storage, identitas, dan image service; proyek ini digunakan luas untuk membangun cloud privat maupun publik. (OpenStack)

Kalimat tajam: virtualisasi membuat server lebih efisien; Cloud Data Center membuat layanan lebih terukur, lebih cepat, dan lebih dapat dipertanggungjawabkan.

Komponen Cloud Data Center yang Harus Ada

Komponen	Fungsi	Risiko Jika Tidak Ada
Compute pool	Menyediakan kapasitas komputasi	Server tersebar, utilisasi rendah
Storage pool	Menyediakan kapasitas data	Kapasitas cepat habis, backup tidak terkendali
Network pool	Menghubungkan layanan	Provisioning lambat, segmentasi buruk
Security service	Melindungi layanan	Risiko kebocoran dan lateral movement
Service catalog	Menstandarkan permintaan layanan	Semua permintaan menjadi kasus khusus
Orchestration	Mengotomasi proses	Tim operasi menjadi bottleneck
Monitoring	Melihat status dan tren	Masalah diketahui terlambat
Metering	Mengukur konsumsi	Biaya tidak bisa dijelaskan
Chargeback / showback	Mengaitkan biaya dengan pengguna	Unit bisnis merasa cloud “gratis”
DR management	Menjamin pemulihan layanan	Downtime sulit dikendalikan

1.3 Cloud Data Center sebagai Pusat Biaya dan Pusat Nilai

Cloud Data Center selalu membawa biaya besar. Ada biaya ruang, listrik, pendinginan, rack, UPS, generator, server, storage, jaringan, keamanan, backup, lisensi, SDM, training, audit, maintenance, dan dukungan operasi. Jika tidak dikelola, Cloud Data Center menjadi **pusat biaya tersembunyi**.

Namun jika dikelola dengan benar, Cloud Data Center dapat menjadi **pusat nilai bisnis**. Nilainya muncul dari kecepatan penyediaan layanan, efisiensi resource, konsistensi operasi, peningkatan keamanan, kualitas layanan, dan kemampuan mendukung inovasi digital.

Cloud Data Center dapat menjadi:

- **Pusat biaya**, jika utilisasi rendah dan biaya tidak terlihat.
- **Pusat nilai**, jika resource dipakai efisien dan mendukung target bisnis.
- **Pusat layanan**, jika memiliki katalog layanan dan SLA.
- **Pusat pendapatan**, jika layanan dapat dijual ke pihak lain.
- **Pusat risiko**, jika keamanan, kapasitas, biaya, dan operasi tidak dikendalikan.

Uptime Institute mencatat bahwa survei global data center 2024 membahas isu resiliency, sustainability, efficiency, staffing, cloud, dan AI; laporan ini juga menyoroti tantangan seperti efisiensi fasilitas, power density, dan refresh server. (Uptime Institute)

Artinya, tekanan Cloud Data Center modern bukan hanya “apakah teknologi berjalan”, tetapi juga **apakah biaya naik, listrik cukup, SDM siap, kapasitas akurat, dan operasi tetap andal**.

Pergeseran Cara Mengukur Data Center

Cara Lama	Cara Cloud Data Center
Jumlah server	Kapasitas layanan tersedia
Ruang penuh	Utilisasi resource
Perangkat menyala	SLA tercapai
Biaya dicatat umum	Biaya per layanan diketahui
Request lewat tiket manual	Request lewat katalog layanan
Monitoring perangkat	Monitoring layanan dan pengalaman pengguna
Backup ada	RPO/RTO diuji
Tim teknis bekerja sendiri	Tim teknis, finance, procurement, dan manajemen bekerja terpadu

Prinsip penting: Cloud Data Center yang tidak memiliki data biaya, data utilisasi, dan data layanan akan sulit dibela di depan CFO, auditor, dan manajemen.

1.4 Nilai Bisnis Cloud Data Center

Nilai bisnis Cloud Data Center tidak boleh berhenti pada klaim “lebih modern”. Nilai harus bisa dijelaskan secara konkret.

Nilai bisnis utama meliputi:

1. Kecepatan layanan

Dengan *service catalog* dan otomasi, penyediaan VM, storage, backup, jaringan, atau akses keamanan dapat dipercepat. Proses yang dulu membutuhkan hari atau minggu dapat dipersingkat jika standar, approval, dan otomasi sudah matang.

Namun kecepatan tidak boleh mengorbankan kontrol. Semua provisioning harus tetap memiliki:

- pemilik layanan;
- approval;
- kuota;
- template standar;
- kontrol keamanan;
- pencatatan biaya;
- monitoring;
- kebijakan backup;
- masa berlaku layanan.

2. Efisiensi resource

Resource yang tidak dipakai tetap membawa biaya. VM menganggur, snapshot menumpuk, storage tidak terpakai, backup berlebihan, dan kapasitas jaringan yang tidak dimonitor akan menaikkan TCO.

Efisiensi membutuhkan metrik:

- CPU utilization;
- memory utilization;
- storage utilization;
- network throughput;
- jumlah VM aktif;
- jumlah VM idle;
- kapasitas backup;
- kapasitas DR;
- power usage;
- cooling load;
- biaya per layanan.

3. Standarisasi layanan

Tanpa standar, setiap permintaan menjadi proyek kecil. Akibatnya biaya naik, waktu provisioning lambat, dan dokumentasi berantakan.

Contoh standar layanan:

Layanan	Spesifikasi	SLA Awal	Catatan
VM kecil	2 vCPU, 4 GB RAM	99,5%	Untuk aplikasi ringan
VM sedang	4 vCPU, 8 GB RAM	99,5%	Untuk aplikasi internal
VM besar	8 vCPU, 16 GB RAM	99,9%	Perlu approval kapasitas
Storage block	per GB/bulan	99,9%	Diukur per konsumsi
Backup	per GB/bulan	99,9%	Harus punya retensi
DR	per VM/bulan	sesuai kelas layanan	Harus diuji berkala

4. Pengendalian risiko

Cloud Data Center menurunkan risiko jika dikelola dengan disiplin. Tetapi ia juga dapat menciptakan risiko baru jika resource terlalu mudah dibuat tanpa kontrol.

Risiko utama:

- **VM sprawl**, terlalu banyak VM tanpa pemilik.
- **Snapshot sprawl**, snapshot menumpuk dan memakan storage.
- **Biaya tidak terlihat**, resource dipakai tanpa akuntabilitas.
- **Kapasitas palsu**, terlihat masih ada ruang tetapi power, cooling, atau storage sudah menjadi bottleneck.
- **Akses berlebihan**, admin terlalu banyak dan tidak diaudit.
- **Backup tidak diuji**, data terlihat aman tetapi tidak terbukti dapat dipulihkan.
- **DR hanya dokumen**, tidak pernah diuji secara operasional.

5. Transparansi biaya

Cloud Data Center harus dapat menjelaskan biaya per layanan. Tanpa transparansi, unit bisnis cenderung menganggap resource tidak memiliki konsekuensi biaya.

Minimal perlu dihitung:

- biaya compute per vCPU/RAM;
- biaya storage per GB;
- biaya backup per GB;
- biaya jaringan;
- biaya keamanan;
- biaya listrik;
- biaya pendinginan;
- biaya SDM operasi;
- biaya maintenance;
- biaya audit dan compliance.

Kalimat tajam: resource yang tidak dihitung akan dianggap gratis; resource yang dianggap gratis hampir pasti diboroskan.

1.5 Arsitektur Konseptual Cloud Data Center

Secara konseptual, Cloud Data Center dapat dilihat dalam lima lapisan.

Lapisan	Isi	Fungsi
Fasilitas	ruang, rack, power, cooling, fire protection, access control	Menjaga infrastruktur fisik tetap hidup
Infrastruktur TI	server, storage, network, security appliance	Menyediakan kapasitas dasar
Virtualisasi dan platform cloud	hypervisor, container platform, cloud controller, image, identity	Mengubah perangkat menjadi resource pool
Layanan	compute, storage, network, backup, DR, security, database, platform	Memberikan layanan ke pengguna
Manajemen	catalog, orchestration, monitoring, logging, metering, chargeback, audit	Mengendalikan operasi, biaya, dan risiko

Buku Cloud Data Center Network Architectures and Technologies menempatkan pembahasan Cloud DCN pada arsitektur, model layanan, komponen fungsional, interaksi antarkomponen, *underlay*, *overlay*, multi-DC, keamanan, deployment, dan keterbukaan kontroler. Ini memperkuat bahwa Cloud Data Center adalah sistem terpadu, bukan hanya lapisan virtualisasi.

1.6 Peran Service Catalog

Service catalog adalah pintu depan Cloud Data Center. Tanpa *service catalog*, cloud akan berubah menjadi kumpulan permintaan manual yang sulit dikendalikan.

Service catalog harus menjelaskan:

- nama layanan;
- deskripsi layanan;
- spesifikasi teknis;
- SLA;
- batas kapasitas;
- harga internal;
- proses request;
- waktu provisioning;
- pemilik layanan;
- tanggung jawab pengguna;
- tanggung jawab operator;
- kebijakan backup;
- kebijakan keamanan;
- masa berlaku layanan;
- prosedur eskalasi.

Contoh sederhana:

Layanan	Spesifikasi	SLA	Biaya Internal	Pemilik
VM kecil	2 vCPU, 4 GB RAM, 100 GB storage	99,5%	Rp…/bulan	Cloud Ops
VM sedang	4 vCPU, 8 GB RAM, 200 GB storage	99,5%	Rp…/bulan	Cloud Ops
Storage standar	per GB/bulan	99,9%	Rp…/GB/bulan	Storage Ops
Backup standar	retensi 30 hari	99,9%	Rp…/GB/bulan	Backup Ops
DR basic	restore manual	sesuai RTO/RPO	Rp…/VM/bulan	DR Team
Security zone	segmentasi dan policy	sesuai kelas layanan	Rp…/layanan	Security Ops

Prinsip: *service catalog* bukan brosur layanan. Ia adalah kontrak operasional antara pengguna, operator, finance, security, dan manajemen.

1.7 Peran Metering, Showback, dan Chargeback

Cloud Data Center profesional harus memiliki mekanisme pengukuran pemakaian.

Metering

Metering adalah proses mengukur konsumsi resource. Contohnya:

- berapa vCPU dipakai;
- berapa RAM dialokasikan;
- berapa storage digunakan;
- berapa kapasitas backup;
- berapa bandwidth;
- berapa jam layanan aktif;
- berapa power yang dikonsumsi;
- berapa biaya operasional terkait.

Showback

Showback adalah pelaporan biaya kepada unit pengguna tanpa langsung menagih. Tujuannya membangun kesadaran biaya.

Contoh: “Unit A menggunakan 40 VM, 12 TB storage, 8 TB backup, estimasi biaya internal Rp… per bulan.”

Chargeback

Chargeback adalah pembebanan biaya ke unit pengguna. Ini lebih keras dibanding *showback*, tetapi efektif untuk mengendalikan permintaan berlebihan.

Catatan kritis: organisasi yang baru mulai sebaiknya memulai dari *showback*. Jika data biaya sudah matang dan diterima manajemen, baru bergerak ke *chargeback*.

1.8 Peran Open Source dan Prompt AI

Cloud Data Center dapat dirancang dan dianalisis dengan bantuan tool *open source*. Tool tidak menggantikan arsitek, tetapi membantu mempercepat dokumentasi, simulasi, monitoring, dan analisis.

Contoh pendekatan *open source*:

- **OpenStack** untuk platform cloud infrastruktur.
- **KVM** untuk virtualisasi.
- **Ceph** untuk storage terdistribusi.
- **Prometheus** untuk monitoring metrik.
- **Grafana** untuk visualisasi dashboard.
- **Ansible** untuk otomasi konfigurasi.
- **Terraform/OpenTofu** untuk *infrastructure as code*.
- **NetBox** untuk dokumentasi IP, rack, perangkat, dan koneksi.
- **LibreNMS** atau **Zabbix** untuk monitoring jaringan dan perangkat.
- **Loki** atau **OpenSearch** untuk log.
- **Keycloak** untuk identitas dan akses.
- **Ollama** untuk analisis lokal berbasis AI jika organisasi ingin menjaga data tetap internal.

OpenStack secara resmi diposisikan sebagai perangkat lunak *open source* untuk infrastruktur cloud, digunakan luas dan dikembangkan komunitas melalui OpenInfra Foundation. (OpenStack)

Prompt AI — Menilai Kematangan Cloud Data Center

Gunakan prompt berikut untuk membantu menyusun analisis awal.

Anda adalah konsultan Cloud Data Center senior.

Analisis kondisi Cloud Data Center berikut:
1. Jenis layanan yang tersedia:
2. Jumlah pengguna internal:
3. Jumlah pengguna eksternal:
4. Apakah ada service catalog:
5. Apakah ada SLA:
6. Apakah ada metering:
7. Apakah ada showback atau chargeback:
8. Utilisasi compute:
9. Utilisasi storage:
10. Utilisasi network:
11. Kondisi backup:
12. Kondisi disaster recovery:
13. Struktur tim operasi:
14. Masalah biaya terbesar:
15. Risiko operasional terbesar:

Berikan output dalam format:
- Ringkasan kondisi
- Tingkat kematangan: rendah / sedang / tinggi
- 10 masalah utama
- 10 rekomendasi prioritas
- Data tambahan yang harus dikumpulkan
- Risiko jika tidak diperbaiki
- Quick wins 90 hari

Materi Praktek

Checklist Posisi Strategis Cloud Data Center

Gunakan checklist ini untuk menilai apakah Cloud Data Center sudah diposisikan sebagai **mesin bisnis digital** atau masih sebatas ruang server yang diberi lapisan virtualisasi.

Pertanyaan	Ya/Tidak	Catatan
Apakah layanan Cloud Data Center sudah didefinisikan?		
Apakah pengguna internal dan eksternal sudah jelas?		
Apakah tersedia *service catalog*?		
Apakah setiap layanan memiliki SLA?		
Apakah biaya per layanan diketahui?		
Apakah utilisasi computer monitor?		
Apakah utilisasi storage di monitor?		
Apakah utilisasi network di monitor?		
Apakah ada metering?		
Apakah ada showback?		
Apakah ada chargeback?		
Apakah backup memiliki RPO dan RTO?		
Apakah DR pernah diuji?		
Apakah ada pemilik layanan?		
Apakah tim operasi jelas?		
Apakah ada dashboard kapasitas?		
Apakah ada dashboard biaya?		
Apakah ada laporan bulanan ke manajemen?		
Apakah ada proses review kapasitas 3–5 tahun?		
Apakah ada audit log perubahan konfigurasi?		

Template Ringkas: Pemetaan Layanan Cloud Data Center

Layanan	Pengguna	SLA	Resource Utama	Biaya Dasar	Risiko Utama	Pemilik
VM standar	Unit internal	99,5%	CPU, RAM, storage		VM sprawl	Cloud Ops
Storage	Aplikasi	99,9%	Storage pool		Kapasitas habis	Storage Ops
Backup	Semua aplikasi	sesuai RPO	Backup storage		Restore gagal	Backup Ops
DR	Aplikasi kritikal	sesuai RTO/RPO	Site cadangan		DR tidak teruji	DR Team
Security zone	Aplikasi kritikal	sesuai policy	Firewall, segmentasi		Akses lateral	Security Ops
Monitoring	Operasi	24×7	Metrik dan log		Alarm tidak ditindak	NOC/Ops

Ringkasan Bab 1

Cloud Data Center adalah **mesin bisnis digital** karena ia menyediakan layanan yang menopang aplikasi, transaksi, data, operasi, dan inovasi organisasi. Nilainya tidak terletak pada banyaknya server, tetapi pada kemampuan mengubah kapasitas menjadi layanan yang cepat, aman, efisien, terukur, dan siap audit. Cloud Data Center tidak boleh disamakan dengan virtualisasi. Ia harus memiliki *compute pool*, *storage pool*, *network pool*, keamanan, otomasi, monitoring, backup, DR, *service catalog*, *metering*, *showback*, dan *chargeback*. Tanpa semua itu, cloud hanya menjadi server room yang lebih mahal. Tantangan utama professional data center adalah memastikan bahwa setiap layanan memiliki pemilik, SLA, biaya, kapasitas, risiko, dan bukti operasi. **Cloud Data Center yang matang adalah yang dapat menjelaskan siapa memakai apa, berapa biayanya, bagaimana kualitasnya, apa risikonya, dan bagaimana kapasitasnya dijaga untuk masa depan.**

Checklist Akhir Bab 1

- **Cloud Data Center dipahami sebagai platform layanan, bukan ruang server.**
- **Virtualisasi tidak dianggap cukup untuk menyebut sebuah lingkungan sebagai cloud.**
- **Katalog layanan mulai disusun.**
- **SLA setiap layanan mulai didefinisikan.**
- **Metering mulai dirancang.**
- **Showback atau chargeback mulai dipertimbangkan.**
- **Utilisasi resource dimonitor.**
- **Biaya per layanan mulai dihitung.**
- **Backup dan DR dikaitkan dengan RPO/RTO.**
- **Tim operasi, pemilik layanan, dan tanggung jawab pengguna dibuat jelas.**

Bab 2. Model Layanan Cloud Data Center dan Dampaknya ke SDM & Biaya

Golden Rule: Model layanan menentukan organisasi, kompetensi, biaya, risiko, dan cara Cloud Data Center dipertanggungjawabkan.

Cloud Data Center tidak boleh dimulai dari pertanyaan “perangkat apa yang harus dibeli?”, tetapi dari pertanyaan **layanan apa yang akan diberikan**. Model layanan akan menentukan siapa yang harus mengoperasikan, kompetensi apa yang dibutuhkan, biaya apa yang muncul, SLA apa yang dijanjikan, dan risiko apa yang harus dikendalikan.

NIST mendefinisikan *cloud computing* sebagai model akses jaringan *on-demand* ke kumpulan sumber daya komputasi yang dapat dikonfigurasi, seperti jaringan, server, storage, aplikasi, dan layanan, yang dapat disediakan serta dilepas dengan cepat dengan usaha manajemen minimal. NIST juga membagi model layanan utama menjadi IaaS, PaaS, dan SaaS. (C SRC)

Dalam konteks buku ini, fokus diarahkan ke Cloud Data Center professional, terutama layanan infrastruktur dan operasi: **IaaS, PaaS, BaaS, DRaaS, STaaS, DBaaS, NaaS, SECaaS, Managed Private Cloud, dan Hybrid Cloud Operations**. Outline buku menegaskan bahwa model layanan menentukan kebutuhan SDM dan struktur biaya, serta harus dikaitkan dengan *service catalog*, SLA, batas kapasitas, harga internal, proses request, dan tanggung jawab operator maupun pengguna.

2.1 Model Layanan Cloud Data Center

Model layanan adalah cara Cloud Data Center “menjual” atau menyediakan kemampuan teknis kepada pengguna. Pengguna tidak perlu selalu tahu detail server, storage, VLAN, firewall, backup engine, atau hypervisor. Yang mereka butuhkan adalah layanan yang jelas: **apa yang diminta, berapa kapasitasnya, berapa SLA-nya, berapa biayanya, dan siapa yang bertanggung jawab.**

Cloud Data Center yang matang biasanya memiliki beberapa model layanan berikut.

2.1.1 *Infrastructure as a Service* — IaaS

Infrastructure as a Service adalah layanan dasar cloud yang menyediakan kapasitas komputasi, storage, jaringan, dan keamanan dasar kepada pengguna. Bentuk paling umum adalah VM, volume storage, jaringan virtual, alamat IP, dan akses keamanan.

Contoh layanan IaaS:

- VM kecil, sedang, besar.
- vCPU dan RAM sesuai paket.
- Storage block.
- Jaringan virtual.
- Firewall policy dasar.
- Snapshot sesuai kebijakan.
- Backup opsional.
- Monitoring dasar.

Dampak ke SDM: IaaS membutuhkan tim yang kuat pada compute, storage, network, virtualization, security, monitoring, dan automation.

Dampak ke biaya: biaya utama muncul dari server, storage, switch, firewall, listrik, pendinginan, rack, maintenance, lisensi terbuka/komersial jika ada, dan SDM operasi.

OpenStack relevan sebagai contoh platform *open source* untuk membangun IaaS karena mengelola pool compute, storage, dan network di data center melalui API dan mekanisme autentikasi bersama. (OpenStack)

Catatan kritis: IaaS terlihat sederhana, tetapi sangat mudah menjadi sumber pemborosan. VM yang dibuat tanpa masa berlaku, tanpa pemilik, dan tanpa metering akan berubah menjadi **biaya diam-diam**.

2.1.2 *Platform as a Service* — PaaS

Platform as a Service menyediakan lingkungan siap pakai untuk menjalankan aplikasi. Pengguna tidak lagi meminta VM kosong, tetapi meminta platform: runtime aplikasi, container platform, database runtime, API gateway, message broker, atau environment DevOps.

Contoh layanan PaaS:

- Container platform.
- Runtime aplikasi.
- Database platform.
- CI/CD internal berbasis *open source*.
- API gateway.
- Message queue.
- Object storage API.
- Observability platform.

Dampak ke SDM: PaaS membutuhkan kompetensi lebih tinggi dibanding IaaS. Tim harus memahami aplikasi, container, automation, security pipeline, observability, dan lifecycle platform.

Dampak ke biaya: biaya PaaS tidak hanya pada infrastruktur, tetapi juga pada operasi platform, patching, hardening, logging, monitoring, backup, scaling, dan dukungan developer.

Catatan kritis: PaaS menaikkan nilai Cloud Data Center, tetapi juga menaikkan kompleksitas. Jika tim belum matang, PaaS bisa menjadi platform mahal yang tidak stabil.

2.1.3 *Backup as a Service* — BaaS

Backup as a Service menyediakan perlindungan data sebagai layanan. Pengguna memilih kebijakan backup berdasarkan kebutuhan bisnis: frekuensi, retensi, lokasi penyimpanan, enkripsi, dan target pemulihan.

Contoh parameter BaaS:

- Backup harian.
- Backup mingguan.
- Retensi 7, 30, 90, atau 365 hari.
- Backup aplikasi kritikal.
- Backup database.
- Enkripsi data backup.
- Uji restore berkala.
- Laporan keberhasilan backup.

Dampak ke SDM: membutuhkan Backup Engineer, Storage Engineer, Security Engineer, dan Incident/Recovery Manager.

Dampak ke biaya: storage backup, kapasitas jaringan, software backup, media penyimpanan, replikasi, tenaga operasi, dan uji restore.

Catatan kritis: backup yang tidak pernah diuji bukan kontrol risiko, tetapi **ilusi keamanan**.

2.1.4 *Disaster Recovery as a Service* — DRaaS

Disaster Recovery as a Service menyediakan kemampuan pemulihan layanan saat terjadi gangguan besar. DR bukan sekadar memiliki site cadangan, tetapi mencakup desain RTO, RPO, replikasi, failover, failback, prosedur, dan uji berkala.

Contoh layanan DRaaS:

- DR untuk VM kritikal.
- DR untuk database.
- DR aplikasi bisnis.
- Replikasi antar site.
- Simulasi failover.
- Laporan hasil uji DR.
- Pemulihan prioritas berdasarkan kelas layanan.

Dampak ke SDM: membutuhkan DR Engineer, Network Engineer, Storage Engineer, Security Engineer, Application Owner, dan Incident Manager.

Dampak ke biaya: site cadangan, link antar site, storage replikasi, compute cadangan, backup, lisensi, SDM, uji DR, dokumentasi, dan audit.

Dalam arsitektur Cloud DCN modern, Zhang dan Chen memasukkan DR management, BaaS, dan DR services sebagai bagian dari domain manajemen layanan cloud.

Catatan kritis: DR yang hanya ada di dokumen tidak menyelamatkan layanan. **DR harus diuji, dicatat, dan diperbaiki.**

\

2.1.5 *Storage as a Service* — STaaS

Storage as a Service menyediakan kapasitas penyimpanan sebagai layanan. Pengguna tidak meminta disk fisik, tetapi kapasitas dan karakteristik layanan: block, file, object, performa, retensi, enkripsi, dan replikasi.

Contoh layanan STaaS:

- Block storage per GB/bulan.
- File storage per GB/bulan.
- Object storage per bucket.
- Tier storage cepat.
- Tier storage arsip.
- Storage terenkripsi.
- Storage dengan replikasi.
- Storage dengan snapshot.

Dampak ke SDM: membutuhkan Storage Engineer, Capacity Planner, Security Engineer, dan Cost Analyst.

Dampak ke biaya: storage hardware, disk, controller, jaringan storage, power, cooling, backup, replikasi, maintenance, dan growth capacity.

Catatan kritis: storage hampir selalu tumbuh lebih cepat daripada perkiraan. Tanpa kuota dan *showback*, storage menjadi salah satu sumber pemborosan terbesar.

2.1.6 *Database as a Service* — DBaaS

Database as a Service menyediakan layanan database siap pakai. Pengguna tidak mengelola server database dari nol, tetapi meminta database dengan ukuran, performa, backup, akses, dan SLA tertentu.

Contoh layanan DBaaS:

- Database kecil untuk aplikasi internal.
- Database sedang untuk aplikasi produksi.
- Database kritikal dengan replikasi.
- Backup database otomatis.
- Monitoring performa database.
- Patch management.
- Enkripsi data.
- Akses berbasis peran.

Dampak ke SDM: membutuhkan Database Engineer, Security Engineer, Backup Engineer, Cloud Platform Engineer, dan Incident Manager.

Dampak ke biaya: compute, storage cepat, backup, replikasi, lisensi bila ada, monitoring, tuning, dan dukungan operasional.

Catatan kritis: DBaaS memiliki risiko tinggi karena menyimpan data inti organisasi. Model biaya harus memasukkan backup, HA, DR, keamanan, dan audit.

2.1.7 *Network as a Service* — NaaS

Network as a Service menyediakan layanan jaringan secara terstandar dan otomatis. Pengguna tidak meminta konfigurasi manual satu per satu, tetapi meminta network segment, IP, routing, firewall policy, load balancing, atau koneksi antar lingkungan.

Contoh layanan NaaS:

- Network segment.
- IP address pool.
- Routing policy.
- Firewall policy.
- Load balancing.
- VPN internal.
- Segmentasi aplikasi.
- Koneksi antar site.
- Network monitoring.

Dampak ke SDM: membutuhkan Network Engineer, Automation Engineer, Security Engineer, dan Monitoring Engineer.

Dampak ke biaya: switch, router, firewall, load balancer, kabel, transceiver, link, monitoring, maintenance, dan kapasitas bandwidth.

Cloud DCN modern membutuhkan kemampuan alokasi resource fleksibel, deployment aplikasi yang gesit, bandwidth tinggi, latensi rendah, skalabilitas, keamanan, dan otomasi manajemen.

Catatan kritis: cloud yang cepat di compute tetapi lambat di jaringan tetap akan terasa lambat bagi pengguna.

2.1.8 *Security as a Service* — SECaaS

Security as a Service menyediakan kontrol keamanan sebagai layanan. Keamanan tidak lagi ditempel di akhir, tetapi menjadi bagian dari desain layanan.

Contoh SECaaS:

- Identity dan access management.
- Firewall policy.
- Microsegmentation.
- Vulnerability scanning.
- Log security.
- SIEM berbasis *open source*.
- Security dashboard.
- Hardening template.
- Compliance report.
- Incident response.

Dampak ke SDM: membutuhkan Security Engineer, Security Analyst, Compliance Officer, Incident Manager, dan Cloud Platform Engineer.

Dampak ke biaya: tool keamanan, log storage, monitoring, audit, tenaga analis, pelatihan, hardening, dan proses incident response.

Catatan kritis: layanan cloud tanpa security model yang jelas hanya mempercepat risiko.

2.1.9 *Managed Private Cloud*

Managed Private Cloud adalah layanan private cloud yang dioperasikan secara terkelola. Infrastruktur tetap didedikasikan untuk satu organisasi, tetapi operasi dapat dilakukan oleh tim internal, pihak ketiga, atau kombinasi keduanya.

Contoh cakupan:

- Operasi harian platform cloud.
- Monitoring 24×7.
- Patch dan upgrade.
- Backup dan restore.
- Incident management.
- Capacity planning.
- Security hardening.
- Laporan bulanan layanan dan biaya.

Dampak ke SDM: organisasi tetap membutuhkan service owner, vendor manager, cost analyst, security owner, dan capacity planner meskipun operasi teknis dibantu pihak lain.

Dampak ke biaya: biaya kontrak managed service, SLA, support, audit, maintenance, kapasitas tambahan, dan biaya koordinasi.

Catatan kritis: managed service tidak berarti tanggung jawab hilang. **Akuntabilitas tetap berada pada pemilik layanan.**

2.1.10 *Hybrid Cloud Operations*

Hybrid Cloud Operations adalah pengelolaan operasi di lingkungan campuran: private cloud, colocation, public cloud tertentu, dan edge site. Fokusnya bukan hanya koneksi teknis, tetapi tata kelola lintas lingkungan.

Contoh cakupan:

- Monitoring lintas platform.
- Policy akses lintas lingkungan.
- Backup dan DR lintas lokasi.
- Cost visibility.
- Workload placement.
- Koneksi jaringan.
- Keamanan identitas.
- Compliance.
- Incident response lintas tim.

Data Center Handbook menjelaskan bahwa hybrid cloud menggabungkan private cloud dan public cloud, umumnya untuk memperluas infrastruktur on-premises sekaligus memanfaatkan fleksibilitas cloud. Buku yang sama juga menekankan bahwa pendekatan cloud berdampak pada agility, kecepatan eksekusi, dan biaya.

Catatan kritis: hybrid cloud tanpa tata kelola biaya akan membuat organisasi membayar dua dunia sekaligus: data center tetap mahal, cloud eksternal juga membengkak.

2.2 *Service Catalog*

Service catalog adalah dokumen operasional yang menjelaskan layanan Cloud Data Center secara resmi. Ia bukan daftar menu kosmetik, tetapi **kontrak layanan internal** antara pengguna, operator, finance, security, procurement, dan manajemen.

Dalam arsitektur cloud, portal dan *service catalog* berperan sebagai pintu permintaan layanan. Permintaan tersebut kemudian diteruskan ke lapisan orkestrasi untuk provisioning compute, network, dan storage. Dokumen arsitektur cloud juga menempatkan katalog, order, offering, metering, billing, dan chargeback sebagai bagian penting infrastruktur cloud.

OpenStack juga memperkuat pola ini karena cloud modern dikelola melalui API untuk compute, storage, dan network, bukan melalui konfigurasi manual per perangkat. (OpenStack)

2.2.1 Isi Minimum *Service Catalog*

Service catalog harus menjelaskan minimal:

- **Jenis layanan**.
- **Spesifikasi layanan**.
- **SLA**.
- **Batas kapasitas**.
- **Harga internal**.
- **Proses request**.
- **Waktu provisioning**.
- **Tanggung jawab pengguna**.
- **Tanggung jawab operator**.
- **Kebijakan backup**.
- **Kebijakan keamanan**.
- **Masa berlaku layanan**.
- **Prosedur eskalasi**.
- **Model biaya**.
- **Status layanan: aktif, terbatas, deprecated, atau retired.**

Prinsip penting: layanan yang tidak masuk *service catalog* sebaiknya tidak diberikan secara bebas. Jika tetap diberikan, harus dianggap sebagai layanan khusus yang perlu approval.

2.2.2 Contoh Struktur *Service Catalog*

Komponen	Contoh Isi
Nama layanan	VM kecil
Deskripsi	VM standar untuk aplikasi ringan
Spesifikasi	2 vCPU, 4 GB RAM, 100 GB storage
SLA	99,5%
Batas kapasitas	Maksimum 10 VM per unit tanpa approval tambahan
Harga internal	Rp … / bulan
Waktu provisioning	1 hari kerja setelah approval
Backup	Opsional, sesuai paket backup
Security	Segmentasi standar
Monitoring	CPU, RAM, disk, network
Pengguna bertanggung jawab	OS, aplikasi, data, akses user
Operator bertanggung jawab	Infrastruktur, platform, monitoring dasar
Eskalasi	Service Desk → Cloud Ops → Incident Manager

2.2.3 Kesalahan Umum dalam *Service Catalog*

Banyak organisasi membuat *service catalog* terlalu teknis atau terlalu umum. Keduanya bermasalah.

Kesalahan umum:

- Layanan hanya ditulis “VM” tanpa ukuran jelas.
- SLA tidak didefinisikan.
- Biaya tidak dicantumkan.
- Tidak ada batas kapasitas.
- Tidak ada pemilik layanan.
- Tidak ada masa berlaku.
- Tidak ada aturan backup.
- Tidak ada aturan keamanan.
- Tidak ada proses penghentian layanan.
- Semua request diperlakukan sebagai pengecualian.

Kalimat tajam: *service catalog* yang tidak memiliki SLA, biaya, dan pemilik layanan hanyalah brosur, bukan alat kendali Cloud Data Center.

2.3 Dampak Model Layanan terhadap SDM

Semakin matang model layanan, semakin besar kebutuhan SDM lintas disiplin. Cloud Data Center tidak dapat dijalankan hanya oleh admin server. Ia membutuhkan kombinasi facility, network, compute, storage, security, cloud platform, automation, support, cost, dan governance.

Outline buku ini menekankan bahwa Cloud Data Center adalah proyek organisasi, biaya, layanan, risiko, dan tata kelola. Tim harus mampu mengoperasikan fasilitas, jaringan, server, storage, virtualisasi, keamanan, otomasi, monitoring, billing, dan layanan pelanggan secara terpadu.

2.3.1 Peran Kunci dalam Cloud Data Center

Peran	Fungsi Utama	Risiko Jika Tidak Ada
Service Owner	Memastikan layanan punya SLA, biaya, roadmap, dan kualitas	Layanan berjalan tanpa pemilik
Cloud Platform Engineer	Mengelola platform cloud, compute, storage, network integration	Platform tidak stabil
Automation Engineer	Membuat provisioning otomatis, template, workflow	Semua proses manual dan lambat
Security Engineer	Mengelola kontrol keamanan, hardening, segmentasi, audit	Risiko akses dan kebocoran meningkat
Billing/Cost Analyst	Menghitung biaya layanan, showback, chargeback, unit cost	Biaya tidak terkendali
Capacity Planner	Menganalisis utilisasi dan proyeksi kebutuhan	Kapasitas habis tiba-tiba
Incident Manager	Mengelola insiden, eskalasi, komunikasi, RCA	Insiden kacau dan berulang
Customer Support / Service Desk	Menjadi pintu komunikasi pengguna	Pengguna langsung menekan engineer
Backup & DR Engineer	Menjamin backup, restore, DR, uji pemulihan	Data tidak dapat dipulihkan
Monitoring Engineer	Menjaga dashboard, alert, log, observability	Masalah diketahui terlambat

2.3.2 Dampak Tiap Model Layanan ke Kebutuhan SDM

Model Layanan	SDM Minimum	Catatan
IaaS	Cloud Engineer, Network Engineer, Storage Engineer, Security Engineer	Cocok sebagai fondasi awal
PaaS	Platform Engineer, Automation Engineer, Security Engineer, Developer Support	Butuh kompetensi aplikasi
BaaS	Backup Engineer, Storage Engineer, Security Engineer	Harus ada uji restore
DRaaS	DR Engineer, Network Engineer, Incident Manager	Harus diuji berkala
STaaS	Storage Engineer, Capacity Planner, Cost Analyst	Risiko growth tinggi
DBaaS	Database Engineer, Backup Engineer, Security Engineer	Risiko data tinggi
NaaS	Network Engineer, Automation Engineer, Security Engineer	Butuh standardisasi policy
SECaaS	Security Engineer, Security Analyst, Compliance Officer	Butuh log dan audit
Managed Private Cloud	Service Owner, Vendor Manager, Cost Analyst, Security Owner	Vendor tidak mengganti akuntabilitas internal
Hybrid Cloud Ops	Cloud Ops, Network, Security, Cost Analyst, Governance	Kompleksitas biaya dan operasi tinggi

2.3.3 Struktur Kompetensi Minimum

Untuk Cloud Data Center skala profesional, kompetensi minimum dapat dikelompokkan sebagai berikut:

Kompetensi teknis

- Facility: power, cooling, rack, fire protection, access control.
- Compute: server, virtualization, container.
- Storage: block, file, object, backup, replication.
- Network: routing, switching, segmentation, SDN, automation.
- Security: identity, policy, hardening, vulnerability, logging.
- Monitoring: metrics, log, alert, dashboard.
- Automation: scripting, workflow, API, *infrastructure as code*.

Kompetensi operasional

- Incident management.
- Problem management.
- Change management.
- Capacity planning.
- SLA management.
- Documentation.
- Vendor management.
- Audit readiness.

Kompetensi finansial

- CAPEX.
- OPEX.
- TCO.
- Unit cost.
- Budget variance.
- Showback.
- Chargeback.
- Cost optimization.

Catatan kritis: Cloud Data Center gagal bukan hanya karena perangkat rusak, tetapi karena organisasi tidak tahu siapa yang bertanggung jawab atas layanan, biaya, kapasitas, dan risiko.

2.4 Dampak Model Layanan terhadap Biaya

Setiap model layanan membawa struktur biaya yang berbeda. IaaS banyak menyerap biaya infrastruktur. PaaS menyerap biaya platform dan operasi. BaaS dan DRaaS menyerap biaya storage, replikasi, link, dan pengujian. SECaaS menyerap biaya log, tool keamanan, audit, dan analis. Hybrid Cloud Operations menyerap biaya koordinasi, integrasi, monitoring lintas platform, dan governance.

FinOps Foundation menekankan pentingnya memahami bagaimana biaya cloud muncul dari setiap layanan, mematuhi kebijakan tagging/account, meninjau alokasi biaya per tim atau aplikasi, dan memahami kebijakan organisasi terkait *showback* atau *chargeback*. (FinOps)

2.4.1 Komponen Biaya Cloud Data Center

Setiap layanan membawa biaya:

- **Perangkat**: server, storage, switch, firewall, rack.
- **Software**: platform, tool, sistem operasi, monitoring, backup.
- **Listrik**: konsumsi IT load dan fasilitas pendukung.
- **Ruang**: rack, raised floor bila ada, area operasi.
- **Pendinginan**: CRAC/CRAH, chiller, airflow, containment.
- **Maintenance**: support perangkat, spare part, kontrak pemeliharaan.
- **Backup**: storage backup, lisensi/tool, operasi restore.
- **SDM**: engineer, analyst, service desk, manager.
- **Support**: helpdesk, incident response, vendor support.
- **Security**: tool, log, audit, vulnerability management.
- **Audit**: dokumentasi, pengujian, compliance.
- **Connectivity**: link, internet, inter-DC, WAN.
- **Training**: peningkatan kompetensi tim.
- **Dokumentasi**: CMDB, runbook, SOP, laporan.

2.4.2 Biaya Langsung dan Tidak Langsung

Jenis Biaya	Contoh	Dampak
Biaya langsung	Server, storage, switch, power, cooling	Mudah dihitung
Biaya tidak langsung	SDM, audit, dokumentasi, training	Sering dilupakan
Biaya tetap	Ruang, rack, kontrak support	Tetap ada walau utilisasi rendah
Biaya variabel	Storage growth, bandwidth, backup, power	Naik mengikuti konsumsi
Biaya risiko	downtime, insiden keamanan, restore gagal	Muncul saat kontrol lemah

Catatan kritis: biaya terbesar sering bukan yang terlihat di invoice, tetapi yang muncul dari kapasitas menganggur, proses manual, downtime, dan keputusan desain yang buruk.

2.4.3 Contoh Dampak Biaya per Model Layanan

Model Layanan	Biaya Dominan	Risiko Biaya
IaaS	Server, storage, network, power, cooling	VM idle, overprovisioning
PaaS	Platform, automation, support developer	Kompleksitas operasi
BaaS	Storage backup, operasi restore	Retensi berlebihan
DRaaS	Site cadangan, replikasi, link	DR tidak diuji tetapi tetap mahal
STaaS	Disk, controller, growth capacity	Storage sprawl
DBaaS	Compute, storage cepat, backup, tuning	Kinerja buruk dan biaya tinggi
NaaS	Switch, firewall, automation, link	Policy rumit dan lambat
SECaaS	Log, SIEM, scanning, audit	Log membengkak
Managed Private Cloud	Kontrak layanan, SLA, vendor management	Ketergantungan vendor
Hybrid Cloud Ops	Integrasi, monitoring, konektivitas, governance	Biaya tersebar dan sulit dilacak

2.4.4 Prinsip Unit Cost

Cloud Data Center profesional harus mulai menghitung **unit cost**. Tanpa unit cost, organisasi tidak bisa menjelaskan harga internal layanan.

Contoh satuan unit cost:

Layanan	Satuan
VM kecil	per VM/bulan
VM sedang	per VM/bulan
vCPU	per vCPU/bulan
RAM	per GB/bulan
Storage block	per GB/bulan
Backup	per GB/bulan
DR	per VM/bulan
Network segment	per segment/bulan
Security policy	per layanan/bulan
Monitoring	per node/bulan

FinOps juga menekankan bahwa transparansi biaya dan alokasi shared cost penting agar engineer dan pemilik produk memahami biaya riil dari layanan yang mereka gunakan. (FinOps)

Kalimat tajam: tanpa unit cost, Cloud Data Center tidak memiliki bahasa yang sama antara engineer, finance, procurement, dan manajemen.

Materi Praktik

Template *Service Catalog* Sederhana

Layanan	Spesifikasi	SLA	Biaya Dasar	Tim Penanggung Jawab
VM kecil	2 vCPU, 4 GB RAM	99,5%	Rp … / bulan	Cloud Ops
VM sedang	4 vCPU, 8 GB RAM	99,5%	Rp … / bulan	Cloud Ops
VM besar	8 vCPU, 16 GB RAM	99,9%	Rp … / bulan	Cloud Ops
Storage block	per GB/bulan	99,9%	Rp … / GB/bulan	Storage Ops
Object storage	per GB/bulan	99,5%	Rp … / GB/bulan	Storage Ops
Backup	per GB/bulan	99,9%	Rp … / GB/bulan	Backup Ops
DR	per VM/bulan	99,9%	Rp … / VM/bulan	DR Team
Network segment	per segment	99,5%	Rp … / segment/bulan	Network Ops
Firewall policy	per policy	99,5%	Rp … / policy/bulan	Security Ops
Monitoring	per node	99,5%	Rp … / node/bulan	Monitoring Ops

Template Detail Layanan

Elemen	Isi
Nama layanan	
Deskripsi layanan	
Target pengguna	
Spesifikasi teknis	
SLA	
RTO	
RPO	
Batas kapasitas	
Harga internal	
Proses request	
Waktu provisioning	
Backup	
Security policy	
Monitoring	
Tanggung jawab pengguna	
Tanggung jawab operator	
Proses eskalasi	
Masa berlaku layanan	
Syarat penghentian layanan	

Checklist Evaluasi Model Layanan

Pertanyaan	Ya/Tidak	Catatan
Apakah setiap layanan memiliki nama resmi?		
Apakah spesifikasi layanan jelas?		
Apakah SLA ditentukan?		
Apakah RTO dan RPO ditentukan untuk layanan kritikal?		
Apakah biaya dasar diketahui?		
Apakah batas kapasitas ditentukan?		
Apakah proses request terdokumentasi?		
Apakah waktu provisioning ditentukan?		
Apakah tanggung jawab pengguna jelas?		
Apakah tanggung jawab operator jelas?		
Apakah ada pemilik layanan?		
Apakah ada metering?		
Apakah ada showback?		
Apakah ada chargeback?		
Apakah layanan memiliki lifecycle: aktif, deprecated, retired?		
Apakah ada laporan biaya bulanan?		
Apakah ada laporan utilisasi bulanan?		
Apakah layanan pernah diaudit?		

Prompt AI — Membuat Service Catalog Cloud Data Center

Anda adalah konsultan senior Cloud Data Center.

Buatkan service catalog untuk Cloud Data Center internal dengan layanan berikut:
1. VM kecil
2. VM sedang
3. VM besar
4. Storage block
5. Object storage
6. Backup
7. Disaster recovery
8. Network segment
9. Firewall policy
10. Monitoring

Untuk setiap layanan, buat tabel dengan kolom:
- nama layanan
- deskripsi
- spesifikasi
- SLA
- RTO/RPO jika relevan
- batas kapasitas
- biaya dasar
- proses request
- waktu provisioning
- tanggung jawab pengguna
- tanggung jawab operator
- risiko utama
- KPI layanan

Gunakan bahasa profesional, ringkas, dan siap dipakai untuk diskusi dengan tim teknis, finance, procurement, dan manajemen.

Prompt AI — Analisis Dampak SDM dan Biaya

Anda adalah Cloud Data Center Architect dan Cost Analyst.

Analisis dampak SDM dan biaya dari model layanan berikut:
- IaaS
- PaaS
- BaaS
- DRaaS
- STaaS
- DBaaS
- NaaS
- SECaaS
- Managed Private Cloud
- Hybrid Cloud Operations

Untuk setiap model layanan, jelaskan:
1. fungsi layanan
2. peran SDM yang dibutuhkan
3. kompetensi teknis minimum
4. komponen biaya utama
5. risiko biaya
6. risiko operasional
7. KPI yang harus dipantau
8. rekomendasi quick wins 90 hari

Gunakan format tabel dan bahasa ringkas.

Studi Kasus Singkat

Sebuah organisasi memiliki 120 VM, 80 TB storage aktif, 40 TB backup, 2 link antar site, dan 12 aplikasi kritikal. Selama ini semua layanan diberikan berdasarkan tiket manual. Tidak ada harga internal, tidak ada showback, dan tidak ada pemilik layanan yang jelas.

Masalah yang muncul:

- VM lama tidak dihapus.
- Storage terus bertambah.
- Backup gagal tidak selalu ditindaklanjuti.
- DR belum pernah diuji.
- Tim cloud kewalahan.
- Finance tidak tahu biaya per aplikasi.
- Pengguna menganggap resource cloud gratis.

Langkah perbaikan 90 hari:

1. Buat **service catalog minimum** untuk VM, storage, backup, dan DR.
2. Tetapkan **pemilik layanan**.
3. Buat **laporan utilisasi bulanan**.
4. Deteksi **VM idle**.
5. Hitung **biaya dasar per VM dan per GB storage**.
6. Terapkan **showback** sebelum chargeback.
7. Uji restore backup minimal untuk aplikasi kritikal.
8. Susun daftar layanan yang perlu dihentikan.
9. Buat dashboard kapasitas.
10. Laporkan biaya dan risiko ke manajemen.

Ringkasan Bab 2

Model layanan adalah fondasi Cloud Data Center professional. IaaS, PaaS, BaaS, DRaaS, STaaS, DBaaS, NaaS, SECaaS, Managed Private Cloud, dan Hybrid Cloud Operations bukan sekadar istilah teknis, tetapi keputusan organisasi dan finansial. Setiap model layanan membutuhkan SDM, kompetensi, proses, biaya, SLA, monitoring, keamanan, dan audit yang berbeda. Karena itu, *service catalog* menjadi alat kendali utama. Ia menjelaskan apa layanan yang tersedia, siapa pemiliknya, berapa kapasitasnya, berapa SLA-nya, berapa biayanya, dan siapa yang bertanggung jawab. **Cloud Data Center tanpa service catalog, metering, showback, dan pemilik layanan akan berubah menjadi pusat biaya yang sulit dikendalikan.**

Checklist Akhir Bab 2

- **Model layanan sudah didefinisikan.**
- **Setiap layanan memiliki pemilik.**
- **Service catalog tersedia.**
- **SLA layanan ditulis jelas.**
- **Batas kapasitas ditentukan.**
- **Harga internal mulai dihitung.**
- **Tanggung jawab pengguna dan operator dipisahkan.**
- **Metering disiapkan.**
- **Showback mulai diterapkan.**
- **Chargeback dipertimbangkan setelah data matang.**
- **Kebutuhan SDM dipetakan per layanan.**
- **Biaya perangkat, listrik, ruang, pendinginan, backup, security, support, dan audit dihitung.**
- **Risiko VM idle, storage sprawl, backup gagal, dan DR tidak teruji dimasukkan ke laporan manajemen.**

Bab 3. Perencanaan Organisasi dan *Talent* Cloud Data Center

Golden Rule: Cloud Data Center gagal bukan karena kekurangan server, tetapi karena tidak jelas siapa pemilik layanan, siapa pengendali risiko, siapa pengelola biaya, dan siapa yang siap bertindak saat insiden terjadi.

Bab ini adalah inti perencanaan SDM Cloud Data Center. Infrastruktur cloud tidak dapat dikelola hanya oleh “admin server”. Cloud Data Center adalah sistem lintas disiplin yang menyatukan **facility, power, cooling, network, compute, storage, virtualization, cloud platform, security, monitoring, automation, service desk, procurement, vendor management, dan cost management**.

Outline buku ini menempatkan Bab 3 sebagai bab kunci untuk membangun organisasi Cloud Data Center yang tidak hanya mampu menjalankan teknologi, tetapi juga mampu mengelola **layanan, tanggung jawab, kompetensi, biaya, risiko, eskalasi, dan dokumentasi**.

Uptime Institute juga menegaskan bahwa biaya staf berkualitas untuk mengoperasikan dan memelihara data center biasanya menjadi salah satu komponen terbesar dalam anggaran operasional, sehingga pemangkasan staf harus dipahami sebagai risiko terhadap kontinuitas operasi. (Uptime Institute Blog)

3.1 Prinsip Desain Organisasi

Organisasi Cloud Data Center harus dirancang dari layanan, bukan dari struktur jabatan lama. Pertanyaan awalnya bukan “siapa admin server?”, tetapi:

- **Layanan apa yang dijalankan?**
- **Siapa pemilik layanan?**
- **Siapa pemilik platform?**
- **Siapa pemilik fasilitas?**
- **Siapa pemilik keamanan?**
- **Siapa pemilik biaya?**
- **Siapa yang mengambil keputusan saat insiden?**
- **Siapa yang membuat laporan ke manajemen?**

Cloud Data Center profesional harus menghindari struktur abu-abu. Struktur abu-abu membuat semua orang “terlibat”, tetapi tidak ada yang benar-benar bertanggung jawab. Akibatnya, saat terjadi gangguan, tim saling menunggu, saling menyalahkan, atau mengambil keputusan tanpa otoritas.

Prinsip desain organisasi:

- **Ada pemilik layanan.**
- **Ada pemilik platform.**
- **Ada pemilik facility.**
- **Ada pemilik security.**
- **Ada pemilik biaya.**
- **Ada proses eskalasi.**
- **Ada dokumentasi tanggung jawab.**
- **Ada laporan rutin.**
- **Ada pengukuran kompetensi.**
- **Ada rencana pengembangan SDM.**

Data Center Handbook menekankan bahwa data center harus dirancang berdasarkan kebutuhan bisnis dan prioritas operasi; kebutuhan seperti uptime, electrical equipment, dan strategi desain listrik harus dipahami sebelum desain teknis dibuat. Dalam konteks organisasi, prinsip yang sama berlaku: **struktur tim harus mengikuti kebutuhan layanan dan risiko bisnis, bukan mengikuti kebiasaan lama.**

3.1.1 Pemilik Layanan

Service owner adalah pihak yang bertanggung jawab atas kualitas, biaya, risiko, dan roadmap sebuah layanan. Misalnya layanan VM, storage, backup, DR, network segment, atau monitoring.

Tugas utama *service owner*:

- Menentukan definisi layanan.
- Menjaga SLA.
- Memastikan layanan masuk *service catalog*.
- Mengawasi biaya layanan.
- Menentukan prioritas peningkatan.
- Mengelola risiko layanan.
- Berkoordinasi dengan pengguna.
- Melaporkan performa layanan ke manajemen.

Catatan tajam: layanan tanpa *service owner* adalah layanan yatim. Ia tetap memakan biaya, tetapi tidak ada yang membela, memperbaiki, atau menghentikannya.

3.1.2 Pemilik Platform

Platform owner bertanggung jawab atas platform cloud yang menjadi fondasi layanan. Platform ini dapat berupa lingkungan virtualisasi, container platform, OpenStack, OpenNebula, Ceph, KVM, Kubernetes, monitoring platform, atau otomasi berbasis Ansible dan Terraform/OpenTofu.

OpenStack sebagai proyek *open source* menyediakan komponen untuk layanan infrastruktur cloud, termasuk compute, storage, dan network, dan digunakan secara luas untuk cloud privat, publik, dan edge. (OpenStack) Data Center Handbook juga menjelaskan bahwa OpenStack mengontrol pool compute, storage, dan network di data center melalui dashboard dan interface yang memungkinkan admin maupun pengguna melakukan provisioning resource.

Tugas pemilik platform:

- Menjaga stabilitas platform.
- Mengatur upgrade dan patch.
- Menentukan standar konfigurasi.
- Menjaga integrasi compute, storage, network, security.
- Mengelola API, template, image, dan automation.
- Mengawasi kapasitas platform.
- Menjaga dokumentasi teknis.
- Menjadi titik eskalasi saat platform bermasalah.

3.1.3 Pemilik Facility

Cloud tetap membutuhkan fondasi fisik. Tanpa listrik, pendinginan, rack, kabel, akses fisik, sensor, UPS, generator, dan fire protection yang baik, seluruh platform cloud hanya menjadi risiko.

Pemilik facility bertanggung jawab atas:

- Power chain.
- UPS.
- Generator.
- PDU.
- Rack.
- Cooling.
- Sensor lingkungan.
- Fire suppression.
- Access control.
- Capacity facility.
- Maintenance fasilitas.
- Dokumentasi ruang, daya, dan pendinginan.

Dalam buku pegangan data center, prinsip desain data center mencakup **availability, scalability, security, performance, dan manageability**. Manageability menuntut agar semua komponen dapat dipantau, didokumentasikan, diuji, diperbarui, dan diaudit.

3.1.4 Pemilik Security

Keamanan Cloud Data Center tidak boleh hanya menjadi tugas tim keamanan di akhir proses. Security harus hadir dalam desain layanan, provisioning, akses admin, segmentasi jaringan, logging, backup, DR, audit, dan incident response.

Tugas pemilik security:

- Menentukan kebijakan akses.
- Mengawasi *identity and access management*.
- Menjaga hardening platform.
- Mengelola segmentasi jaringan.
- Mengawasi logging dan audit trail.
- Menjalankan vulnerability management.
- Mengawasi backup security.
- Mengikuti proses change dan incident.
- Menyusun bukti audit.

Cloud DCN modern juga harus menangani keamanan end-to-end, termasuk virtualization security, network security, advanced threat detection, border security, dan security management.

3.1.5 Pemilik Biaya

Cloud Data Center yang sehat harus punya pemilik biaya. Peran ini dapat disebut *FinOps*, *cost analyst*, atau finance partner untuk cloud. Tugasnya bukan sekadar membuat laporan anggaran, tetapi menghubungkan konsumsi resource dengan biaya layanan.

Tugas pemilik biaya:

- Menghitung TCO.
- Memantau OPEX.
- Menghitung unit cost.
- Membuat laporan *showback*.
- Menyiapkan model *chargeback*.
- Menganalisis resource idle.
- Menghitung biaya VM, storage, backup, DR.
- Menganalisis budget variance.
- Menghubungkan kapasitas dengan rencana investasi.

Outline buku menyebutkan bahwa tujuan utama buku adalah membantu profesional merencanakan SDM, organisasi, kompetensi, biaya, TCO, OPEX, CAPEX, *chargeback*, *capacity planning*, dan roadmap investasi secara realistis, terukur, dan siap audit.

Kalimat tajam: Cloud Data Center tanpa pemilik biaya akan terlihat sukses secara teknis, tetapi gagal saat ditanya: “siapa yang memakai, berapa biayanya, dan apa manfaatnya?”

3.1.6 Proses Eskalasi

Eskalasi adalah jalur keputusan saat terjadi gangguan. Tanpa eskalasi, insiden menjadi debat teknis yang panjang. Dengan eskalasi, setiap orang tahu kapan harus bertindak, siapa yang harus diberi tahu, dan siapa yang mengambil keputusan.

Minimal eskalasi harus mencakup:

- Eskalasi facility.
- Eskalasi power.
- Eskalasi cooling.
- Eskalasi network.
- Eskalasi compute.
- Eskalasi storage.
- Eskalasi security.
- Eskalasi backup.
- Eskalasi DR.
- Eskalasi biaya.
- Eskalasi komunikasi ke manajemen.

Data Center Handbook menekankan pentingnya training spesifik lokasi, knowledge sharing, dan pengurangan kompleksitas karena faktor manusia merupakan salah satu risiko terbesar dalam lingkungan data center.

3.2 Struktur Tim Minimum

Struktur tim minimum harus mencerminkan layanan yang dikelola. Semakin banyak layanan cloud, semakin kompleks SDM yang dibutuhkan. Cloud Data Center yang menyediakan IaaS sederhana tentu berbeda dengan cloud yang menyediakan PaaS, BaaS, DRaaS, DBaaS, SECaaS, dan hybrid cloud operations.

Uptime Institute mencatat bahwa kekurangan staf berkualitas menjadi akar banyak masalah operasional; dalam survei manajemen dan operasi 2022, isu seperti eksekusi staf, jumlah staf yang tidak memadai, serta proses/prosedur staf yang salah termasuk penyebab umum masalah data center. (Uptime Institute Blog)

3.2.1 Peran Minimum

Peran minimum dalam Cloud Data Center professional:

Peran	Fungsi Utama
Data Center Manager	Mengelola operasi, risiko, SLA, biaya, vendor, dan laporan manajemen
Facility Engineer	Menjaga ruang, rack, akses fisik, sensor, dan fasilitas
Power & Cooling Engineer	Mengelola listrik, UPS, generator, PDU, cooling, airflow, dan kapasitas daya
Network Engineer	Mengelola IP, VLAN/VXLAN, routing, firewall, load balancer, DCI, dan monitoring jaringan
Server/Compute Engineer	Mengelola server fisik, firmware, kapasitas compute, dan lifecycle perangkat
Storage Engineer	Mengelola block, file, object storage, kapasitas, performa, dan replikasi
Virtualization Engineer	Mengelola hypervisor, cluster, HA, resource pool, template, dan patch
Cloud Platform Engineer	Mengelola platform cloud, API, dashboard, service catalog, quota, dan integrasi
Security Engineer	Mengelola hardening, IAM, logging, vulnerability, segmentasi, dan audit
Backup & DR Engineer	Mengelola backup, restore, replikasi, RPO, RTO, dan uji DR
Monitoring Engineer	Mengelola metric, log, alert, dashboard, dan laporan operasi
Automation Engineer	Mengelola script, template, workflow, API, dan *infrastructure as code*
FinOps / Cost Analyst	Menghitung unit cost, TCO, OPEX, showback, chargeback, dan budget variance
Procurement & Vendor Manager	Mengelola kontrak, SLA vendor, maintenance, lisensi, spare part, dan pengadaan
Service Desk	Menjadi pintu layanan, tiket, komunikasi pengguna, dan eskalasi awal

Catatan praktis: satu orang dapat memegang lebih dari satu peran pada organisasi kecil. Namun tanggung jawabnya tetap harus ditulis. Jangan mencampur peran tanpa dokumentasi.

3.2.2 Struktur Organisasi Minimum

Struktur minimum dapat dibagi menjadi lima kelompok.

A. Manajemen dan Tata Kelola

- Data Center Manager.
- Cloud Lead.
- Service Owner.
- Finance Partner.
- Procurement & Vendor Manager.

Fokusnya adalah **arah layanan, prioritas, biaya, risiko, SLA, vendor, dan pelaporan manajemen**.

B. Facility dan Infrastruktur Fisik

- Facility Engineer.
- Power & Cooling Engineer.
- Teknisi shift.
- Vendor maintenance facility.

Fokusnya adalah **daya, pendinginan, rack, akses fisik, lingkungan, fire protection, dan kapasitas fasilitas**.

C. Infrastruktur TI

- Server/Compute Engineer.
- Storage Engineer.
- Network Engineer.
- Virtualization Engineer.

Fokusnya adalah **kapasitas teknis yang menopang cloud**.

D. Platform, Security, dan Automation

- Cloud Platform Engineer.
- Security Engineer.
- Monitoring Engineer.
- Automation Engineer.

Fokusnya adalah **platform layanan, keamanan, observability, otomasi, dan konsistensi operasi**.

E. Operasi Layanan dan Biaya

- Service Desk.
- Incident Manager.
- Backup & DR Engineer.
- FinOps / Cost Analyst.

Fokusnya adalah **tiket, insiden, pemulihan, biaya, laporan, dan pengalaman pengguna**.

3.2.3 Model Tim Berdasarkan Skala

Skala Cloud Data Center	Karakteristik	Model Tim
Kecil	<50 VM, layanan internal terbatas	Beberapa orang memegang banyak peran, tetapi RACI wajib
Menengah	50–500 VM, storage dan backup serius	Tim facility, network, compute, cloud, security, cost mulai dipisah
Besar	>500 VM, multi layanan, SLA formal	Peran khusus, shift, NOC/SOC, FinOps, DR, automation
Kritis	Layanan publik/finansial/operasi 24×7	Struktur formal, audit ketat, shift, standby, uji DR berkala

Catatan tajam: semakin kritikal layanan, semakin berbahaya struktur “semua orang bisa semua”. Redundansi SDM sama pentingnya dengan redundansi perangkat.

3.2.4 Risiko Jika Tim Terlalu Kecil

Risiko umum jika Cloud Data Center dijalankan oleh tim terlalu kecil:

- Tidak ada pemisahan tugas.
- Tidak ada *backup person*.
- Engineer menjadi bottleneck.
- Dokumentasi tertunda.
- Patch tertunda.
- Backup tidak diuji.
- DR hanya dokumen.
- Monitoring tidak ditindaklanjuti.
- Perubahan dilakukan tanpa review.
- Biaya tidak dihitung.
- Insiden berulang.
- Burnout meningkat.
- Pengetahuan terkunci pada satu orang.

Uptime Institute memperkirakan kebutuhan tenaga kerja data center global terus meningkat dan menyebut tantangan manusia sebagai isu penting dalam desain, pembangunan, dan operasi infrastruktur kritikal. (Uptime Institute)

3.3 RACI Matrix

RACI digunakan agar tidak terjadi konflik tanggung jawab. Banyak insiden besar bukan terjadi karena tidak ada orang pintar, tetapi karena tidak jelas siapa yang harus melakukan apa.

RACI terdiri dari:

- **Responsible**: pihak yang mengerjakan.
- **Accountable**: pihak yang bertanggung jawab akhir.
- **Consulted**: pihak yang harus dimintai masukan.
- **Informed**: pihak yang harus diberi informasi.

Prinsip penting: dalam satu aktivitas, boleh banyak pihak *Responsible*, tetapi **Accountable sebaiknya satu**. Jika terlalu banyak pihak accountable, keputusan akan lambat.

3.3.1 Contoh RACI Operasi Cloud Data Center

Aktivitas	Responsible	Accountable	Consulted	Informed
Provisioning VM	Cloud Ops	Cloud Lead	Security	User
Patch hypervisor	Virtualization Engineer	Infra Lead	App Owner	Service Desk
Incident power	Facility Engineer	DC Manager	Cloud Ops	Management
Backup restore	Backup Engineer	DR Lead	App Owner	User
Cost report	Cost Analyst	Finance Partner	Cloud Lead	Management
Penambahan storage	Storage Engineer	Infra Lead	Cost Analyst	User
Perubahan firewall	Security Engineer	Security Lead	App Owner, Network Engineer	Service Desk
Upgrade platform cloud	Cloud Platform Engineer	Cloud Lead	Security, App Owner	Management
Uji DR	DR Engineer	DR Lead	Network, Storage, App Owner	Management
Review kapasitas	Capacity Planner	DC Manager	Cloud Lead, Cost Analyst	Finance
Audit akses admin	Security Engineer	Security Lead	Cloud Lead	Auditor
Penghentian VM idle	Cloud Ops	Service Owner	User, Cost Analyst	Finance

3.3.2 Kesalahan Umum RACI

Kesalahan umum dalam RACI:

- Semua orang ditulis sebagai Responsible.
- Tidak ada Accountable.
- Accountable lebih dari satu.
- Security hanya Informed, padahal harus Consulted.
- Finance baru dilibatkan saat biaya membengkak.
- App Owner tidak dilibatkan saat backup restore.
- Service Desk tidak diberi informasi perubahan.
- Management baru diberi tahu saat insiden sudah besar.

Kalimat tajam: RACI bukan tabel administrasi. RACI adalah alat untuk mencegah insiden berubah menjadi kekacauan organisasi.

3.3.3 RACI untuk Insiden Kritis

Untuk insiden besar, RACI harus lebih tegas.

Aktivitas Insiden	Responsible	Accountable	Consulted	Informed
Deteksi alarm	Monitoring Engineer	NOC Lead	Cloud Ops	Service Desk
Validasi dampak	Incident Manager	DC Manager	App Owner	Management
Isolasi masalah	Engineer terkait	Incident Manager	Security	User terdampak
Komunikasi status	Service Desk	Incident Manager	App Owner	Management
Keputusan failover	DR Lead	DC Manager	App Owner, Security	Management
Root Cause Analysis	Problem Manager	DC Manager	Semua tim terkait	Management
Perbaikan permanen	Engineer terkait	Infra Lead	Security, Cost Analyst	Service Desk

3.4 Skill Matrix

Skill matrix digunakan untuk memetakan kompetensi per orang dan per peran. Tujuannya bukan untuk menghukum staf, tetapi untuk melihat gap nyata: siapa bisa apa, siapa perlu training, siapa bisa menjadi mentor, dan di mana risiko *single point of knowledge* berada.

Outline buku menyebutkan kompetensi seperti Linux, network, virtualization, storage, security, dan cost harus dipetakan dari level junior, intermediate, hingga senior.

3.4.1 Contoh Skill Matrix Inti

Kompetensi	Junior	Intermediate	Senior
Linux	Instalasi dasar	Troubleshooting service, log, user, storage	Automation, hardening, performance tuning
Network	VLAN/IP	Routing, firewall, troubleshooting	Spine-leaf, SDN, DCI, segmentation design
Virtualization	VM admin	Cluster operation, template, resource pool	HA/DR design, capacity, lifecycle platform
Storage	Volume, LUN, bucket	Performance, snapshot, replication	Architecture, tiering, growth planning
Security	Hardening dasar	IAM, logging, vulnerability handling	Audit, risk, incident response, zero trust design
Cost	Input biaya	Analisis unit cost	TCO, ROI, chargeback, investment roadmap
Facility	Checklist harian	UPS, PDU, cooling, alarm	Capacity facility, redundancy, risk analysis
Monitoring	Membaca dashboard	Membuat alert dan threshold	Observability design, predictive operation
Automation	Menjalankan script	Membuat playbook	Workflow, API integration, IaC governance
Backup & DR	Menjalankan backup	Restore, retensi, job monitoring	DR strategy, RTO/RPO, failover test

3.4.2 Level Kompetensi

Gunakan skala sederhana agar mudah diaudit.

Level	Definisi
0	Belum memiliki kompetensi
1	Memahami konsep dasar
2	Bisa menjalankan tugas dengan panduan
3	Bisa menjalankan tugas mandiri
4	Bisa troubleshooting dan memperbaiki masalah kompleks
5	Bisa mendesain, mengaudit, melatih orang lain, dan membuat standar

Catatan praktis: target semua orang bukan harus level 5. Targetnya adalah setiap layanan kritikal memiliki minimal dua orang yang mampu mengoperasikan dan minimal satu orang yang mampu mendesain atau mengaudit.

3.4.3 Skill Matrix per Role

Role	Kompetensi Wajib	Kompetensi Pendukung
Data Center Manager	SLA, risk, cost, vendor, incident, reporting	Facility, cloud architecture, audit
Facility Engineer	Power, cooling, rack, sensor, access	Monitoring, capacity, documentation
Network Engineer	IP, routing, segmentation, firewall, DCI	Automation, security, monitoring
Compute Engineer	Server, firmware, capacity, lifecycle	Virtualization, automation
Storage Engineer	Block/file/object, performance, replication	Backup, cost, security
Virtualization Engineer	Hypervisor, cluster, HA, templates	DR, automation, monitoring
Cloud Platform Engineer	Cloud platform, API, service catalog, quota	Security, automation, cost
Security Engineer	IAM, hardening, logging, audit	Network, cloud platform, incident
Backup & DR Engineer	Backup, restore, RPO/RTO, failover	Storage, network, application
Monitoring Engineer	Metrics, logs, alerts, dashboard	Incident, automation, capacity
Automation Engineer	Script, API, Ansible, Terraform/OpenTofu	Security, change management
Cost Analyst	TCO, unit cost, OPEX, showback	Capacity, service catalog
Vendor Manager	Kontrak, SLA, renewal, support	Procurement, technical risk
Service Desk	Ticket, komunikasi, eskalasi	Layanan cloud dasar, SLA

3.4.4 Risiko Kompetensi

Risiko	Gejala	Dampak
Single point of knowledge	Hanya satu orang paham sistem	Operasi lumpuh saat orang tersebut tidak ada
Skill tidak terdokumentasi	Tidak ada skill matrix	Training tidak tepat sasaran
Training tidak dikaitkan dengan layanan	Banyak sertifikat, layanan tetap buruk	Biaya training tidak berdampak
Tim tidak paham biaya	Resource dibuat tanpa kontrol	OPEX naik
Tim tidak paham security	Akses longgar, log lemah	Risiko audit dan insiden
Tim tidak paham DR	DR tidak diuji	Pemulihan gagal
Tim tidak paham automation	Semua manual	Lambat, rawan salah

3.5 Perencanaan *Talent* Berbasis Layanan

Perencanaan SDM harus dimulai dari daftar layanan cloud. Jangan mulai dari jumlah orang. Mulailah dari beban kerja.

Contoh daftar layanan:

- VM kecil.
- VM sedang.
- VM besar.
- Storage block.
- Object storage.
- Backup.
- DR.
- Network segment.
- Firewall policy.
- Monitoring.
- Database platform.
- Container platform.
- Managed private cloud.
- Hybrid cloud operations.

Setiap layanan harus dipetakan ke aktivitas operasi.

Contoh aktivitas:

- Provisioning.
- Approval.
- Monitoring.
- Patch.
- Backup.
- Restore.
- Incident handling.
- Capacity review.
- Security review.
- Cost review.
- Reporting.
- Decommissioning.

Setelah itu baru ditentukan role, RACI, skill, training, hiring, dan biaya.

3.5.1 Contoh Pemetaan Layanan ke Role

Layanan	Role Utama	Role Pendukung
VM	Cloud Platform Engineer	Virtualization, Security, Cost Analyst
Storage block	Storage Engineer	Backup, Security, Cost Analyst
Backup	Backup Engineer	Storage, App Owner, Security
DR	DR Engineer	Network, Storage, App Owner, Incident Manager
Network segment	Network Engineer	Security, Cloud Platform Engineer
Firewall policy	Security Engineer	Network, App Owner
Monitoring	Monitoring Engineer	Cloud Ops, Service Desk
Cost report	Cost Analyst	Cloud Lead, Finance Partner
Hybrid operations	Cloud Lead	Network, Security, Cost Analyst, Vendor Manager

3.5.2 Formula Sederhana Kebutuhan SDM

Untuk estimasi awal, gunakan pendekatan praktis berikut.

> **Kebutuhan SDM = kompleksitas layanan + jam operasi + tingkat kritikalitas + kebutuhan audit + jumlah platform + jumlah lokasi**

Faktor yang menaikkan kebutuhan SDM:

- Operasi 24×7.
- Banyak layanan kritikal.
- Banyak site.
- Banyak teknologi.
- Banyak pengguna.
- Banyak perubahan.
- SLA tinggi.
- DR wajib.
- Audit ketat.
- Kebutuhan laporan biaya.
- Kebutuhan otomasi.

Catatan tajam: organisasi sering menghitung jumlah server, tetapi lupa menghitung jumlah perubahan, jumlah alarm, jumlah tiket, jumlah audit, dan jumlah laporan. Padahal itu semua adalah beban SDM.

3.6 Integrasi Tool *Open Source* untuk Organisasi dan Talent

Tool *open source* dapat membantu mengurangi beban manual, tetapi tidak menggantikan kebutuhan organisasi yang jelas.

Contoh tool yang relevan:

Kebutuhan	Tool *Open Source*	Fungsi
Dokumentasi aset	NetBox	IPAM, DCIM ringan, rack, kabel, perangkat
Monitoring metrik	Prometheus	Metrik sistem dan layanan
Dashboard	Grafana	Visualisasi kapasitas dan performa
Log	OpenSearch / Loki	Pengumpulan dan pencarian log
Otomasi	Ansible	Konfigurasi dan operasi terstandar
IaC	Terraform / OpenTofu	Provisioning berbasis kode
Cloud platform	OpenStack / OpenNebula	Private cloud dan IaaS
Storage	Ceph	Storage terdistribusi
Identity	Keycloak	Identity dan akses
Ticketing	Zammad / GLPI	Service desk dan asset workflow
Dokumentasi	Wiki.js / BookStack	SOP, MOP, EOP, runbook
AI lokal	Ollama	Analisis dokumen dan draft laporan internal

Prinsip: tool hanya mempercepat organisasi yang sudah rapi. Tool tidak bisa menyelamatkan struktur tanggung jawab yang kacau.

Materi Praktik

Step-by-Step Membuat *Talent Plan*

Langkah 1 — Daftar Semua Layanan Cloud

Buat daftar layanan yang benar-benar diberikan.

No	Layanan	Aktif / Rencana	Pengguna	Kritis?
1	VM kecil	Aktif	Internal	Tidak
2	VM sedang	Aktif	Internal	Sedang
3	Storage block	Aktif	Aplikasi	Tinggi
4	Backup	Aktif	Semua aplikasi	Tinggi
5	DR	Rencana	Aplikasi kritikal	Sangat tinggi
6	Monitoring	Aktif	Operasi	Tinggi
7	Firewall policy	Aktif	Aplikasi	Tinggi

Langkah 2 — Daftar Semua Aktivitas Operasi

Aktivitas	Harian	Mingguan	Bulanan	Saat Insiden
Cek alarm	Ya			Ya
Provisioning VM	Ya			
Review kapasitas		Ya	Ya	
Patch platform			Ya	
Backup check	Ya			Ya
Restore test			Ya	Ya
Cost report			Ya	
Security review		Ya	Ya	Ya
Update dokumentasi	Ya	Ya	Ya	
RCA insiden				Ya

Langkah 3 — Tentukan Role yang Dibutuhkan

Aktivitas	Role Dibutuhkan
Provisioning VM	Cloud Platform Engineer, Security Engineer
Patch hypervisor	Virtualization Engineer
Penambahan storage	Storage Engineer, Cost Analyst
Network segment	Network Engineer, Security Engineer
Restore backup	Backup Engineer, App Owner
Uji DR	DR Engineer, Network Engineer, Storage Engineer
Cost report	Cost Analyst, Finance Partner
Incident critical	Incident Manager, DC Manager, semua lead terkait

Langkah 4 — Buat RACI

Aktivitas	Responsible	Accountable	Consulted	Informed
Provisioning VM	Cloud Ops	Cloud Lead	Security	User
Patch hypervisor	Virtualization Engineer	Infra Lead	App Owner	Service Desk
Incident power	Facility Engineer	DC Manager	Cloud Ops	Management
Backup restore	Backup Engineer	DR Lead	App Owner	User
Cost report	Cost Analyst	Finance Partner	Cloud Lead	Management

Langkah 5 — Buat Skill Matrix

Nama / Role	Linux	Network	Virtualization	Storage	Security	Cost	Automation
Engineer A	4	2	4	2	2	1	3
Engineer B	2	4	2	2	3	1	2
Engineer C	3	2	2	4	2	1	2
Engineer D	2	2	2	2	4	2	2
Analyst E	1	1	1	1	2	4	1

Skala: 0 = belum bisa, 1 = dasar, 2 = dengan panduan, 3 = mandiri, 4 = troubleshooting, 5 = desain/audit/mentor.

Langkah 6 — Identifikasi Gap Kompetensi

Kompetensi	Kebutuhan Minimum	Kondisi Saat Ini	Gap	Risiko
Linux	3 orang level 3+	2 orang	1	Troubleshooting lambat
Network	2 orang level 4	1 orang	1	Bottleneck network
Virtualization	2 orang level 4	1 orang	1	Risiko saat patch/upgrade
Storage	2 orang level 4	1 orang	1	Risiko kapasitas dan performa
Security	2 orang level 4	1 orang	1	Risiko audit dan insiden
Cost	1 orang level 4	1 orang	0	Cukup untuk awal
Automation	2 orang level 3	1 orang	1	Provisioning tetap manual

Langkah 7 — Tentukan Training

Gap	Training	Target Waktu	Output
Virtualization	Cluster ops, HA, lifecycle	3 bulan	Engineer mampu patch mandiri
Storage	Performance, replication, capacity	3 bulan	Laporan kapasitas storage
Security	IAM, logging, audit evidence	3 bulan	Checklist audit akses
Automation	Ansible, API, IaC	6 bulan	5 workflow otomatis
Cost	TCO, unit cost, showback	3 bulan	Laporan biaya bulanan

Langkah 8 — Tentukan Kebutuhan Hiring

Role	Jumlah Saat Ini	Kebutuhan	Gap	Prioritas
Facility Engineer	1	2	1	Tinggi
Network Engineer	1	2	1	Tinggi
Cloud Platform Engineer	1	2	1	Tinggi
Storage Engineer	1	2	1	Sedang
Security Engineer	1	2	1	Tinggi
Cost Analyst	1	1	0	Cukup
Service Desk	2	3	1	Sedang

Langkah 9 — Hitung Biaya SDM Tahunan

Role	Jumlah	Biaya per Orang / Tahun	Total
Data Center Manager	1	Rp …	Rp …
Facility Engineer	2	Rp …	Rp …
Power & Cooling Engineer	1	Rp …	Rp …
Network Engineer	2	Rp …	Rp …
Cloud Platform Engineer	2	Rp …	Rp …
Security Engineer	2	Rp …	Rp …
Backup & DR Engineer	1	Rp …	Rp …
Monitoring Engineer	1	Rp …	Rp …
Automation Engineer	1	Rp …	Rp …
Cost Analyst	1	Rp …	Rp …
Service Desk	3	Rp …	Rp …
Total			**Rp …**

Langkah 10 — Masukkan ke TCO

Biaya SDM tidak boleh dianggap biaya tambahan kecil. Ia harus masuk ke TCO.

Komponen TCO minimum:

- CAPEX perangkat.
- OPEX listrik.
- OPEX pendinginan.
- OPEX ruang.
- OPEX maintenance.
- OPEX konektivitas.
- OPEX software dan support.
- **OPEX SDM.**
- Training.
- Audit.
- Vendor support.
- Spare part.
- DR test.
- Dokumentasi.

Outline buku juga menyediakan template perencanaan SDM dan biaya yang memasukkan role, jumlah saat ini, kebutuhan, gap, training, hiring, risiko, serta komponen CAPEX dan OPEX bulanan/tahunan.

Prompt AI — Membuat Struktur Organisasi Cloud Data Center

Anda adalah konsultan senior Cloud Data Center.

Buatkan struktur organisasi minimum untuk Cloud Data Center profesional dengan layanan:
- IaaS
- storage
- backup
- DR
- network service
- security service
- monitoring
- automation
- cost reporting

Untuk setiap unit, jelaskan:
1. fungsi utama
2. role yang dibutuhkan
3. tanggung jawab harian
4. tanggung jawab saat insiden
5. KPI utama
6. risiko jika role tidak tersedia

Gunakan bahasa profesional, ringkas, dan cocok untuk presentasi ke manajemen.

Prompt AI — Membuat RACI Matrix

Anda adalah Cloud Data Center Operations Manager.

Buatkan RACI matrix untuk aktivitas berikut:
1. provisioning VM
2. patch hypervisor
3. penambahan storage
4. perubahan firewall
5. incident power
6. incident network
7. backup restore
8. uji disaster recovery
9. laporan biaya bulanan
10. review kapasitas
11. audit akses admin
12. penghentian VM idle

Gunakan kolom:
- aktivitas
- Responsible
- Accountable
- Consulted
- Informed
- risiko jika RACI tidak jelas

Prompt AI — Membuat Skill Matrix

Anda adalah Head of Cloud Data Center Talent Development.

Buatkan skill matrix untuk role:
- Facility Engineer
- Network Engineer
- Compute Engineer
- Storage Engineer
- Virtualization Engineer
- Cloud Platform Engineer
- Security Engineer
- Backup & DR Engineer
- Monitoring Engineer
- Automation Engineer
- Cost Analyst
- Service Desk

Gunakan level:
0 = belum bisa
1 = konsep dasar
2 = bisa dengan panduan
3 = mandiri
4 = troubleshooting
5 = desain, audit, dan mentoring

Berikan output dalam tabel:
- role
- kompetensi utama
- level minimum
- training yang disarankan
- risiko jika gap tidak ditutup

Studi Kasus Singkat

Sebuah organisasi memiliki private cloud internal dengan 180 VM, 120 TB storage, 60 TB backup, dua lokasi data center, dan 15 aplikasi kritikal. Tim yang tersedia hanya terdiri dari:

- 1 admin server.
- 1 network engineer.
- 1 facility engineer.
- 1 service desk.
- 1 security officer paruh waktu.

Masalah yang muncul:

- Tidak ada *service owner*.
- Tidak ada *cloud platform engineer* khusus.
- Tidak ada *cost analyst*.
- Tidak ada *backup person* untuk admin server.
- Backup berjalan, tetapi restore jarang diuji.
- DR belum pernah disimulasikan.
- VM idle tidak pernah dihitung.
- Storage bertambah tanpa kuota.
- Insiden jaringan selalu menunggu satu orang.
- Finance tidak punya laporan biaya layanan.

Analisis:

Masalah utama bukan hanya kekurangan orang, tetapi kekurangan struktur tanggung jawab. Organisasi ini memiliki risiko tinggi karena pengetahuan terkunci pada individu tertentu. Jika satu orang tidak tersedia, layanan kritikal bisa terganggu.

Rencana 90 hari:

1. Tetapkan **Data Center Manager** sebagai accountable.
2. Tetapkan **service owner** untuk VM, storage, backup, DR, network, security.
3. Buat **RACI minimum** untuk provisioning, patch, backup, restore, incident, dan cost report.
4. Buat **skill matrix** semua personel.
5. Identifikasi *single point of knowledge*.
6. Uji restore untuk tiga aplikasi kritikal.
7. Buat laporan VM idle.
8. Buat laporan storage growth.
9. Buat laporan biaya dasar VM dan storage.
10. Ajukan kebutuhan hiring atau training berbasis risiko.

Ringkasan Bab 3

Cloud Data Center tidak dapat dioperasikan hanya oleh admin server. Ia membutuhkan organisasi lintas disiplin yang mencakup facility, power, cooling, network, compute, storage, virtualization, cloud platform, security, backup, DR, monitoring, automation, service desk, procurement, vendor management, dan cost management. Prinsip utamanya adalah **setiap layanan harus punya pemilik, setiap platform harus punya penanggung jawab, setiap risiko harus punya jalur eskalasi, setiap biaya harus punya pemilik, dan setiap kompetensi harus dipetakan**. RACI mencegah konflik tanggung jawab. Skill matrix mencegah organisasi bergantung pada satu orang. Talent plan membantu menghubungkan layanan, aktivitas operasi, role, training, hiring, biaya SDM, dan TCO. **Cloud Data Center yang sehat bukan hanya yang teknologinya canggih, tetapi yang timnya siap, tanggung jawabnya jelas, kompetensinya terukur, dan biayanya dapat dipertanggungjawabkan.**

Checklist Akhir Bab 3

Checklist	Status
Setiap layanan memiliki service owner.	
Platform cloud memiliki pemilik teknis.	
Facility memiliki pemilik operasi.	
Security memiliki pemilik kontrol dan audit.	
Biaya cloud memiliki pemilik analisis.	
Struktur tim minimum sudah ditulis.	
RACI tersedia untuk aktivitas kritikal.	
Skill matrix tersedia untuk semua role.	
Gap kompetensi sudah diidentifikasi.	
Training plan tersedia.	
Kebutuhan hiring dihitung berbasis risiko.	
Biaya SDM tahunan masuk ke TCO.	
Backup person tersedia untuk role kritikal.	
Proses eskalasi insiden jelas.	
Dokumentasi tanggung jawab tersimpan dan diperbarui.	

Bab 4. Kompetensi Inti: *Facility*, *Network*, *Compute*, *Storage*, *Security*, *Cloud Ops*

Golden Rule: Cloud Data Center yang kuat bukan dibangun oleh satu jenis engineer, tetapi oleh kombinasi kompetensi facility, network, compute, storage, security, cloud ops, dan cost yang bekerja sebagai satu sistem layanan.

Bab ini menjelaskan kompetensi teknis utama yang harus tersedia dalam tim Cloud Data Center. Kompetensi ini tidak boleh dipahami sebagai daftar keahlian individual semata, tetapi sebagai **kemampuan organisasi** untuk merancang, mengoperasikan, mengamankan, mengukur, mengotomasi, dan mempertanggungjawabkan layanan cloud.

Cloud Data Center modern mencakup *compute pool*, *storage pool*, *network pool*, *security service*, *orchestration*, monitoring, backup, DR, *service catalog*, *metering*, dan *chargeback/showback*. Karena itu, kompetensinya harus lintas disiplin, bukan hanya administrasi server.

4.1 *Facility Competency*

Kompetensi *facility* adalah fondasi fisik Cloud Data Center. Semua layanan cloud bergantung pada daya, pendinginan, rack, sensor, proteksi kebakaran, akses fisik, dan kapasitas fasilitas. Jika *facility* gagal, platform cloud ikut gagal.

Kompetensi utama *facility* meliputi:

- **Power chain**.
- **UPS**.
- **Generator**.
- **PDU**.
- **Rack**.
- **Cooling**.
- **Sensor**.
- **Fire suppression**.
- **Access control**.
- **Capacity facility**.

Data center profesional harus dirancang agar komponen dapat dipantau, diuji, didokumentasikan, diperbarui, dan diaudit. Prinsip desain yang penting mencakup **availability, scalability, security, performance, dan manageability**.

4.1.1 *Power Chain*

Power chain adalah jalur daya dari sumber listrik utama sampai ke perangkat IT. Jalur ini biasanya mencakup:

- sumber listrik utama;
- panel listrik;
- UPS;
- baterai;
- generator;
- ATS/STS jika digunakan;
- PDU;
- rack PDU;
- power supply server;
- grounding;
- monitoring daya.

Kompetensi yang dibutuhkan:

- membaca diagram kelistrikan;
- memahami kapasitas kW dan kVA;
- memahami redundansi N, N+1, 2N;
- memahami beban per rack;
- menghitung headroom daya;
- membaca alarm UPS;
- menjalankan prosedur failover daya;
- membuat laporan konsumsi energi.

Kesalahan umum: menghitung kapasitas server, tetapi lupa menghitung batas daya per rack. Akibatnya rack terlihat masih kosong, tetapi secara daya sudah penuh.

4.1.2 UPS dan Generator

UPS menjaga layanan tetap hidup saat listrik utama terganggu. Generator menjaga operasi saat gangguan listrik berlangsung lebih lama.

Kompetensi UPS:

- kapasitas UPS;
- runtime baterai;
- battery health;
- bypass mode;
- load percentage;
- alarm;
- jadwal maintenance;
- uji beban.

Kompetensi generator:

- kapasitas generator;
- bahan bakar;
- durasi operasi;
- auto start;
- uji berkala;
- load test;
- integrasi dengan ATS;
- prosedur saat gagal start.

Catatan kritis: UPS dan generator bukan hanya perangkat cadangan. Keduanya adalah bagian dari SLA layanan. Jika tidak diuji, redundansi hanya asumsi.

4.1.3 Cooling dan Airflow

Pendinginan menentukan stabilitas server, storage, network, dan perangkat power. Beban cloud yang naik akan menaikkan konsumsi daya dan panas. Karena itu, engineer harus memahami hubungan antara IT load, airflow, suhu, kelembaban, dan kapasitas pendinginan.

Kompetensi cooling:

- memahami hot aisle dan cold aisle;
- membaca suhu inlet server;
- membaca suhu return;
- memahami kelembaban;
- memahami airflow;
- memahami blanking panel;
- memahami containment;
- memahami kapasitas CRAC/CRAH/chiller;
- menganalisis hotspot;
- menghubungkan IT load dengan cooling load.

ASHRAE menjadi rujukan penting untuk praktik termal fasilitas data center karena berfokus pada sistem HVAC&R dan lingkungan terbangun yang sehat serta berkelanjutan. (ashrae.org)

Kalimat tajam: cooling yang buruk tidak selalu langsung mematikan server, tetapi pelan-pelan menaikkan risiko kerusakan, throttling, dan biaya energi.

4.1.4 Sensor, Fire Suppression, dan Access Control

Sensor membantu tim facility melihat kondisi ruangan secara nyata. Minimal sensor yang perlu dipahami:

- suhu;
- kelembapan;
- kebocoran air;
- asap;
- pintu rack;
- konsumsi daya;
- status UPS;
- status generator;
- alarm cooling.

Fire suppression harus dipahami sebagai sistem proteksi layanan, bukan hanya kepatuhan gedung. Tim perlu mengetahui jenis sistem pemadam, area cakupan, prosedur alarm, prosedur evakuasi, dan langkah pemulihan.

Access control harus mencatat siapa masuk, kapan masuk, ke area mana, dan untuk tujuan apa. Akses fisik adalah bagian dari keamanan data.

4.1.5 *Facility Capacity*

Facility capacity harus dihitung sebelum resource cloud dijanjikan ke pengguna. Cloud Ops tidak boleh menjual VM atau storage tanpa mengetahui batas ruang, rack, power, cooling, dan konektivitas.

Metrik *facility capacity*:

Metrik	Fungsi
Rack tersedia	Menentukan ruang ekspansi perangkat
Power per rack	Menentukan batas perangkat per rack
Total IT load	Mengukur beban perangkat IT
Cooling capacity	Menentukan kemampuan membuang panas
PUE	Mengukur efisiensi energi fasilitas
UPS load	Menentukan kapasitas cadangan daya
Generator capacity	Menentukan ketahanan operasi saat listrik utama gagal
Fire zone	Menentukan cakupan proteksi
Access log	Bukti keamanan fisik dan audit

4.2 *Network Competency*

Network adalah tulang punggung Cloud Data Center. Compute cepat dan storage besar tidak berguna jika jaringan lambat, tidak aman, tidak scalable, atau sulit dipantau.

Kompetensi network mencakup:

- **IP addressing**.
- **VLAN/VXLAN**.
- **Routing**.
- **Firewall**.
- **Load balancer**.
- **DCI**.
- **SDN**.
- **Monitoring**.
- **Segmentation**.

Data Centre Management menjelaskan bahwa jaringan data center adalah komponen vital operasi bisnis. Desain jaringan data center didorong oleh kebutuhan bisnis, dengan kriteria utama **availability, scalability, security, performance, dan manageability**. Layanan jaringan data center mencakup IP connectivity, SAN connectivity, application optimization, security, dan business continuance.

4.2.1 IP Addressing dan Segmentasi

IP addressing yang buruk akan menyulitkan provisioning, troubleshooting, audit, dan ekspansi. Network Engineer harus mampu membuat desain IP yang rapi dan terdokumentasi.

Kompetensi IP:

- subnetting;
- IP allocation;
- IPAM;
- reservasi IP;
- segmentasi environment;
- pemisahan management, storage, tenant, backup, dan DR network;
- dokumentasi IP.

Tool *open source* seperti **NetBox** dapat digunakan untuk IPAM, dokumentasi perangkat, rack, koneksi, dan inventaris data center.

Segmentasi diperlukan untuk membatasi risiko. Segmentasi dapat berbasis:

- environment: production, staging, development;
- fungsi: web, app, database;
- tenant;
- zona keamanan;
- backup network;
- management network;
- DR network.

Catatan kritis: jaringan datar mempercepat penyebaran insiden. Segmentasi adalah kontrol risiko, bukan sekadar desain rapi.

4.2.2 VLAN, VXLAN, dan Overlay

VLAN berguna untuk segmentasi tradisional. Namun Cloud Data Center modern sering membutuhkan skala lebih besar, mobilitas workload, dan segmentasi tenant yang lebih fleksibel. Di sinilah VXLAN dan *overlay network* menjadi relevan.

Kompetensi yang dibutuhkan:

- memahami VLAN;
- memahami trunk/access;
- memahami VXLAN;
- memahami VNI;
- memahami underlay dan overlay;
- memahami east-west traffic;
- memahami kebutuhan MTU;
- memahami troubleshooting overlay;
- memahami mapping tenant ke segment.

Cloud DCN modern memiliki banyak VM, pertumbuhan cepat, migrasi luas, dan peningkatan traffic east-west. Karena itu, jaringan membutuhkan bandwidth lebih tinggi, skalabilitas, elastisitas, otomasi, dan keamanan.

4.2.3 Routing, Firewall, Load Balancer, dan DCI

Routing harus dirancang agar traffic antar layanan stabil, predictable, dan mudah ditelusuri. Firewall harus menjadi bagian dari desain layanan, bukan hambatan manual. Load balancer mendukung availability dan scalability aplikasi. DCI menghubungkan antar data center untuk DR, active-active, backup, atau workload mobility.

Kompetensi routing:

- static routing;
- dynamic routing;
- route filtering;
- redundant path;
- failure domain;
- troubleshooting packet path.

Kompetensi firewall:

- policy;
- object;
- zone;
- log;
- rule review;
- least privilege;
- change approval.

Kompetensi load balancer:

- health check;
- persistence;
- SSL/TLS termination jika digunakan;
- layer 4/layer 7;
- service availability.

Kompetensi DCI:

- link antar data center;
- latency;
- bandwidth;
- encryption;
- routing antar site;
- failover;
- DR traffic;
- monitoring DCI.

4.2.4 Monitoring Network

Monitoring network harus menjawab:

- Apakah link penuh?
- Apakah latency naik?
- Apakah packet loss terjadi?
- Apakah error interface meningkat?
- Apakah routing berubah?
- Apakah firewall drop meningkat?
- Apakah traffic east-west melonjak?
- Apakah DCI sehat?
- Apakah ada anomali traffic?

Tool *open source* yang relevan:

- **Prometheus** untuk metrik.
- **Grafana** untuk dashboard.
- **LibreNMS** atau **Zabbix** untuk monitoring perangkat.
- **Loki** atau **OpenSearch** untuk log.
- **NetBox** untuk dokumentasi topology.

4.3 *Compute* dan *Virtualization Competency*

Compute dan virtualisasi adalah lapisan yang mengubah server fisik menjadi resource pool. Kompetensinya tidak berhenti pada membuat VM. Tim harus memahami lifecycle server, hypervisor, cluster, resource overcommit, template, image, patching, HA, dan DR.

Kompetensi utama:

- **Server lifecycle**.
- **Hypervisor**.
- **VM provisioning**.
- **HA cluster**.
- **Resource overcommit**.
- **Template**.
- **Image management**.
- **Patching**.

OpenStack diposisikan sebagai perangkat lunak *open source* cloud infrastructure yang terdiri dari komponen layanan umum untuk infrastruktur cloud. Ia digunakan untuk mengelola cloud pada skala besar dan dikembangkan oleh komunitas OpenInfra Foundation. (OpenStack)

4.3.1 Server Lifecycle

Server lifecycle mencakup seluruh umur server dari pengadaan sampai pensiun.

Tahap lifecycle:

1. Perencanaan kebutuhan.
2. Pengadaan.
3. Penerimaan perangkat.
4. Burn-in test.
5. Instalasi rack.
6. Cabling.
7. Firmware baseline.
8. Instalasi hypervisor.
9. Integrasi monitoring.
10. Masuk cluster.
11. Operasi.
12. Maintenance.
13. Refresh.
14. Decommissioning.
15. Penghapusan data.

Catatan kritis: server yang tidak dikelola lifecycle-nya akan menjadi sumber risiko firmware, performa, keamanan, dan kapasitas.

4.3.2 Hypervisor dan VM Provisioning

Hypervisor menjalankan VM di atas server fisik. Kompetensi hypervisor mencakup:

- instalasi;
- cluster;
- storage integration;
- network integration;
- HA;
- live migration;
- resource scheduler;
- permission;
- patching;
- log;
- troubleshooting.

VM provisioning harus mengikuti template layanan, bukan dilakukan bebas.

Parameter VM minimum:

Parameter	Contoh
Nama VM	mengikuti standar naming
Owner	unit atau aplikasi
vCPU	sesuai paket layanan
RAM	sesuai paket layanan
Storage	sesuai tier
Network	segment sesuai zona
Backup	ya/tidak, retensi
Monitoring	aktif
Masa berlaku	tanggal review
Biaya internal	per bulan

4.3.3 HA Cluster dan Resource Overcommit

HA cluster memastikan VM dapat dipulihkan saat host gagal. Namun HA membutuhkan kapasitas cadangan. Jika semua kapasitas dipakai habis, HA hanya menjadi fitur di kertas.

Kompetensi HA:

- memahami failure domain;
- memahami cluster admission control;
- memahami host failure scenario;
- memahami live migration;
- memahami storage dependency;
- memahami network dependency;
- menguji failover.

Resource overcommit dapat meningkatkan utilisasi, tetapi harus dikendalikan.

Risiko overcommit:

- CPU ready tinggi;
- memory contention;
- swap;
- storage latency;
- performa aplikasi turun;
- SLA gagal;
- troubleshooting kompleks.

Kalimat tajam: overcommit tanpa monitoring adalah cara cepat membuat cloud tampak murah di awal dan mahal saat insiden.

4.3.4 Template, Image Management, dan Patching

Template mempercepat provisioning dan menjaga konsistensi. Image management memastikan OS, baseline security, agent monitoring, dan konfigurasi awal seragam.

Kompetensi image management:

- membuat golden image;
- hardening image;
- update berkala;
- vulnerability check;
- versioning;
- dokumentasi;
- rollback image.

Patching harus memiliki:

- jadwal;
- risk assessment;
- approval;
- backup;
- maintenance window;
- rollback plan;
- hasil uji;
- dokumentasi.

Tool *open source* yang relevan:

- **KVM** untuk virtualisasi.
- **OpenStack** atau **OpenNebula** untuk cloud platform.
- **Ansible** untuk konfigurasi otomatis.
- **Terraform/OpenTofu** untuk provisioning berbasis kode.
- **Packer** untuk image pipeline.
- **Prometheus + Grafana** untuk monitoring.

4.4 *Storage Competency*

Storage adalah lapisan yang sering paling cepat tumbuh dan paling sulit dikendalikan. Kesalahan desain storage akan berdampak pada performa aplikasi, backup, DR, biaya, dan resiko kehilangan data.

Kompetensi storage meliputi:

- **Block storage**.
- **Object storage**.
- **File storage**.
- **Backup**.
- **Snapshot**.
- **Replication**.
- **Performance**.
- **Retention**.

Ceph relevan sebagai contoh *open source* karena menyediakan layanan storage terpadu untuk object, block, dan file dari satu cluster berbasis hardware komoditas. (Ceph)

4.4.1 Block, Object, dan File Storage

Jenis Storage	Fungsi	Contoh Penggunaan
Block storage	Volume untuk VM/database	Disk VM, database, aplikasi transaksional
Object storage	Penyimpanan berbasis object/API	Backup, arsip, media, data lake
File storage	Shared filesystem	File sharing, aplikasi legacy, dokumen

Kompetensi penting:

- memahami workload;
- memilih storage tier;
- memahami latency;
- memahami throughput;
- memahami IOPS;
- memahami replication;
- memahami snapshot;
- memahami restore;
- memahami growth.

4.4.2 Snapshot dan Backup

Snapshot bukan pengganti backup. Snapshot biasanya cepat dan berguna untuk rollback jangka pendek, tetapi tetap bergantung pada sistem storage yang sama. Backup harus memiliki kebijakan retensi, isolasi, enkripsi, dan uji restore.

Perbedaan sederhana:

Aspek	Snapshot	Backup
Tujuan	rollback cepat	perlindungan data
Lokasi	sering masih di storage utama	bisa terpisah
Retensi	pendek	sesuai kebijakan
Proteksi dari storage failure	terbatas	lebih kuat jika terpisah
Audit restore	jarang	wajib

Catatan tajam: snapshot yang dibiarkan menumpuk adalah biaya tersembunyi dan risiko performa.

4.4.3 Replication dan Retention

Replication mendukung availability dan DR. Namun replication juga membawa biaya storage, bandwidth, dan kompleksitas.

Kompetensi replication:

- sync vs async;
- latency;
- bandwidth;
- consistency;
- failover;
- failback;
- split-brain risk;
- test procedure.

Retention menentukan berapa lama data disimpan. Retention harus mengikuti kebutuhan bisnis, hukum, audit, dan biaya.

Pertanyaan retention:

- Data apa yang wajib disimpan?
- Berapa lama disimpan?
- Siapa pemilik data?
- Apakah data terenkripsi?
- Apakah data perlu dihapus setelah masa tertentu?
- Apakah restore pernah diuji?
- Berapa biaya retention per tahun?

4.4.4 Storage Performance

Metrik storage penting:

- IOPS;
- latency;
- throughput;
- queue depth;
- cache hit ratio;
- usable capacity;
- raw capacity;
- replication lag;
- snapshot growth;
- backup growth.

Prinsip: jangan hanya memantau kapasitas TB. Banyak insiden storage terjadi bukan karena TB habis, tetapi karena latency naik.

4.5 *Security* dan *Compliance Competency*

Security dan compliance adalah kompetensi wajib. Cloud Data Center menyatukan banyak workload, banyak tenant, banyak admin, dan banyak data. Tanpa kontrol keamanan, cloud mempercepat risiko.

Kompetensi utama:

- **IAM**.
- **Privileged access**.
- **Network segmentation**.
- **Vulnerability management**.
- **Audit log**.
- **Incident response**.
- **Data classification**.
- **Compliance**.

NIST Cybersecurity Framework 2.0 memberi panduan untuk mengelola risiko keamanan siber melalui fungsi utama **Govern, Identify, Protect, Detect, Respond, dan Recover**. (NIST Publications)

4.5.1 IAM dan *Privileged Access*

IAM mengatur siapa boleh mengakses apa. *Privileged access* mengatur akses admin yang memiliki dampak besar.

Kompetensi IAM:

- role-based access;
- least privilege;
- MFA bila tersedia;
- lifecycle user;
- joiner-mover-leaver;
- service account;
- API credential;
- access review;
- audit trail.

Kompetensi privileged access:

- akun admin terpisah;
- akses sementara;
- approval;
- session logging;
- rotasi credential;
- break-glass account;
- review berkala.

Catatan kritis: akun admin yang tidak diaudit adalah pintu resiko terbesar dalam Cloud Data Center.

4.5.2 Network Segmentation dan Zero Trust

Cloud DCN modern menghadapi batas keamanan yang makin kabur karena virtualisasi, SDN, dan perubahan topology dinamis. Zhang dan Chen menjelaskan bahwa batas fisik tradisional digantikan oleh batas logis virtual yang berubah sesuai kebutuhan layanan, sehingga keamanan legacy berbasis perimeter tidak cukup.

Kompetensi segmentasi:

- zona keamanan;
- tenant isolation;
- east-west traffic control;
- north-south inspection;
- firewall policy;
- security group;
- microsegmentation;
- logging;
- policy review.

Prinsip *zero trust* dalam konteks ini:

- jangan percaya hanya karena traffic berasal dari internal;
- autentikasi dan otorisasi setiap akses;
- segmentasi workload;
- log dan analisis aktivitas;
- batasi akses admin;
- isolasi cepat saat ada anomali.

4.5.3 Vulnerability Management dan Audit Log

Vulnerability management harus menjadi proses rutin, bukan kegiatan menjelang audit.

Tahapan minimum:

1. Inventaris aset.
2. Klasifikasi kritikalitas.
3. Scanning.
4. Validasi temuan.
5. Prioritas perbaikan.
6. Patch atau mitigasi.
7. Verifikasi ulang.
8. Pelaporan.
9. Audit evidence.

Audit log harus mencatat:

- login admin;
- perubahan konfigurasi;
- provisioning;
- penghapusan VM;
- perubahan firewall;
- akses storage;
- restore backup;
- eskalasi privilege;
- perubahan IAM;
- insiden keamanan.

Cloud DCN security harus mampu menyediakan deteksi, isolasi, dan respons terhadap ancaman internal maupun eksternal; pendekatan closed-loop network-and-security dapat mengisolasi host atau memblokir traffic berdasarkan hasil analisis ancaman.

4.5.4 Incident Response dan Compliance

Incident response harus memiliki prosedur jelas.

Minimal tahapan:

- deteksi;
- validasi;
- klasifikasi;
- containment;
- eradication;
- recovery;
- komunikasi;
- RCA;
- perbaikan permanen;
- laporan audit.

Compliance membutuhkan bukti, bukan hanya klaim. Bukti minimum:

- daftar aset;
- daftar akses admin;
- konfigurasi baseline;
- hasil patch;
- hasil vulnerability scan;
- log perubahan;
- hasil backup;
- hasil uji restore;
- hasil uji DR;
- laporan insiden;
- laporan review kapasitas;
- laporan biaya.

Kalimat tajam: compliance bukan pekerjaan dokumen setelah sistem selesai; compliance adalah cara mendesain, mengoperasikan, dan membuktikan bahwa sistem terkendali.

4.6 Kompetensi *Cloud Ops*

Selain lima kompetensi utama di atas, Cloud Data Center membutuhkan kompetensi *Cloud Ops* sebagai pengikat. *Cloud Ops* menghubungkan layanan, platform, otomasi, monitoring, pengguna, SLA, biaya, dan insiden.

Kompetensi *Cloud Ops*:

- *service catalog*;
- provisioning;
- quota;
- tenant management;
- monitoring;
- incident management;
- change management;
- automation;
- capacity planning;
- cost reporting;
- user support;
- documentation;
- service review.

Cloud Data Center yang baik harus memiliki *service catalog*, *orchestration*, *scheduling*, *metering*, *charging*, monitoring, alarm, dan DR management.

Tool *open source* yang mendukung *Cloud Ops*:

Kebutuhan	Tool
Cloud platform	OpenStack, OpenNebula
Virtualisasi	KVM
Storage	Ceph
Automation	Ansible
Infrastructure as Code	Terraform/OpenTofu
Monitoring	Prometheus, Grafana
Log	Loki, OpenSearch
IPAM/DCIM	NetBox
Ticketing	GLPI, Zammad
Identity	Keycloak
Dokumentasi	BookStack, Wiki.js
AI lokal	Ollama

Materi Praktik

Template Matriks Kompetensi Tim

Keterangan:

- **L = Low**: cukup memahami konsep dan dampaknya.
- **M = Medium**: mampu membaca, mengevaluasi, dan berkoordinasi.
- **H = High**: mampu mengoperasikan, troubleshooting, mendesain, dan bertanggung jawab.

Role	Facility	Network	Compute	Storage	Security	Cost
DC Manager	M	L	L	L	M	H
Facility Engineer	H	L	L	L	M	M
Power & Cooling Engineer	H	L	L	L	M	M
Network Engineer	L	H	M	L	H	M
Server/Compute Engineer	L	M	H	M	M	M
Storage Engineer	L	M	M	H	M	M
Virtualization Engineer	L	M	H	M	M	M
Cloud Engineer	L	M	H	M	M	M
Security Engineer	L	M	M	M	H	M
Backup & DR Engineer	M	M	M	H	H	M
Monitoring Engineer	M	M	M	M	M	M
Automation Engineer	L	M	H	M	M	M
Cost Analyst	L	L	M	M	M	H
Service Desk	L	L	L	L	M	L

Checklist Kompetensi Minimum per Domain

A. Checklist *Facility*

Kompetensi	Ada/Tidak	Catatan
Memahami power chain		
Mampu membaca kapasitas UPS		
Mampu membaca status generator		
Memahami PDU dan rack PDU		
Memahami kapasitas power per rack		
Memahami cooling dan airflow		
Memahami sensor suhu/kelembaban		
Memahami fire suppression		
Memahami access control		
Mampu membuat laporan kapasitas facility		

B. Checklist *Network*

Kompetensi	Ada/Tidak	Catatan
IP addressing terdokumentasi		
VLAN/VXLAN dipahami		
Routing terdokumentasi		
Firewall policy direview		
Load balancer di monitor		
DCI dimonitor		
Segmentasi jelas		
Monitoring traffic tersedia		
Latency dan packet loss dipantau		
Network change memiliki approval		

C. Checklist Compute dan Virtualisasi

Kompetensi	Ada/Tidak	Catatan
Server lifecycle terdokumentasi		
Hypervisor di patch rutin		
VM provisioning memakai template		
HA cluster diuji		
Overcommit dimonitor		
Golden image tersedia		
Image diperbarui rutin		
VM idle dideteksi		
Resource pool dipantau		
Decommissioning VM berjalan		

D. Checklist *Storage*

Kompetensi	Ada/Tidak	Catatan
Block storage terdokumentasi		
Object storage terdokumentasi		
File storage terdokumentasi		
Snapshot memiliki aturan		
Backup memiliki retensi		
Restore diuji		
Replication dimonitor		
Storage latency dipantau		
Growth storage dilaporkan		
Data retention disetujui pemilik data		

E. Checklist *Security* dan Compliance

Kompetensi	Ada/Tidak	Catatan
IAM diterapkan		
Privileged access direview		
Segmentasi jaringan tersedia		
Vulnerability scan rutin		
Audit log aktif		
Incident response tersedia		
Data classification tersedia		
Compliance evidence dikumpulkan		
Backup security diperiksa		
Security review masuk change process		

Prompt AI — Membuat Matriks Kompetensi Cloud Data Center

Anda adalah konsultan senior Cloud Data Center.

Buatkan matriks kompetensi untuk tim Cloud Data Center dengan domain:
- facility
- network
- compute
- virtualization
- storage
- security
- cloud ops
- cost

Gunakan role:
- Data Center Manager
- Facility Engineer
- Network Engineer
- Compute Engineer
- Storage Engineer
- Virtualization Engineer
- Cloud Engineer
- Security Engineer
- Backup & DR Engineer
- Monitoring Engineer
- Automation Engineer
- Cost Analyst
- Service Desk

Gunakan level:
L = Low
M = Medium
H = High

Untuk setiap role, jelaskan:
1. kompetensi wajib
2. kompetensi pendukung
3. risiko jika kompetensi tidak tersedia
4. training prioritas 90 hari
5. bukti kompetensi yang harus ada

Prompt AI — Audit Gap Kompetensi

Anda adalah Cloud Data Center Operations Auditor.

Analisis gap kompetensi tim berikut:
[masukkan daftar nama, role, dan level kompetensi]

Domain kompetensi:
- facility
- network
- compute
- storage
- security
- cost
- automation
- monitoring
- backup & DR

Berikan output:
1. ringkasan risiko utama
2. daftar single point of knowledge
3. kompetensi yang paling kritikal
4. rekomendasi training 90 hari
5. rekomendasi hiring
6. risiko terhadap SLA
7. risiko terhadap biaya
8. risiko terhadap audit

Prompt AI — Membuat Rencana Training Teknis

Anda adalah Head of Talent Development untuk Cloud Data Center.

Buatkan rencana training 6 bulan untuk tim Cloud Data Center professional.

Domain:
- facility
- network
- compute
- virtualization
- storage
- security
- cloud ops
- automation
- cost

Untuk setiap bulan, buat:
- tema training
- peserta utama
- kompetensi yang ditargetkan
- praktik/lab
- output yang harus dihasilkan
- KPI keberhasilan
- risiko yang dikurangi

Studi Kasus Singkat

Sebuah Cloud Data Center internal memiliki:

- 250 VM;
- 180 TB storage;
- 90 TB backup;
- 2 lokasi data center;
- 12 aplikasi kritikal;
- 1 tim cloud kecil;
- monitoring dasar;
- belum ada matriks kompetensi formal.

Masalah yang muncul:

- Network Engineer paham routing, tetapi belum menguasai VXLAN.
- Storage Engineer paham volume, tetapi belum memantau latency secara rutin.
- Cloud Engineer bisa provisioning VM, tetapi belum membuat golden image.
- Security Engineer melakukan audit akses, tetapi belum masuk ke proses change.
- Facility Engineer memantau UPS, tetapi belum membuat laporan power per rack.
- Cost Analyst menghitung biaya umum, tetapi belum menghitung unit cost per VM.
- Backup berjalan, tetapi restore test belum konsisten.

Analisis:

Masalah utama bukan hanya kekurangan orang, tetapi kekurangan kedalaman kompetensi per domain. Cloud terlihat berjalan, tetapi risiko tersembunyi muncul pada network overlay, storage performance, image security, privileged access, power capacity, unit cost, dan restore readiness.

Rencana 90 hari:

1. Buat **matriks kompetensi L/M/H**.
2. Tetapkan kompetensi minimum per role.
3. Dokumentasikan power chain dan power per rack.
4. Audit IP addressing dan segmentasi.
5. Buat baseline golden image.
6. Pantau storage latency dan snapshot growth.
7. Review privileged access.
8. Masukkan security review ke change process.
9. Uji restore untuk aplikasi kritikal.
10. Hitung unit cost VM kecil, VM sedang, storage, backup, dan DR.

Ringkasan Bab 4

Kompetensi inti Cloud Data Center terdiri dari *facility*, *network*, *compute*, *virtualization*, *storage*, *security*, dan *cloud ops*. *Facility* menjaga daya, pendinginan, rack, sensor, proteksi kebakaran, akses fisik, dan kapasitas fasilitas. *Network* menjaga konektivitas, segmentasi, routing, firewall, load balancing, DCI, dan monitoring. *Compute* dan virtualisasi mengelola server lifecycle, hypervisor, VM, HA cluster, overcommit, template, image, dan patching. *Storage* menjaga block, object, file, backup, snapshot, replication, performance, dan retention. *Security* dan compliance memastikan IAM, privileged access, segmentation, vulnerability management, audit log, incident response, data classification, dan bukti kepatuhan berjalan. **Cloud Data Center profesional bukan sekadar memiliki teknologi, tetapi memiliki kompetensi yang terukur, terdokumentasi, dilatih, diuji, dan dikaitkan dengan SLA, risiko, biaya, dan audit.**

Checklist Akhir Bab 4

Checklist	Status
Kompetensi facility sudah dipetakan.	
Power chain terdokumentasi.	
UPS dan generator diuji berkala.	
Cooling dan airflow di monitor.	
Network addressing terdokumentasi.	
Segmentasi network jelas.	
DCI dan link kritikal di monitor.	
Server lifecycle tersedia.	
Hypervisor dipatch dengan prosedur.	
VM provisioning memakai template.	
HA cluster diuji.	
Overcommit dimonitor.	
Block, object, dan file storage terdokumentasi.	
Snapshot memiliki aturan retensi.	
Backup dan restore diuji.	
IAM dan privileged access direview.	
Audit log aktif dan disimpan.	
Incident response tersedia.	
Matriks kompetensi L/M/H tersedia.	
Training 90 hari disusun berdasarkan gap kompetensi.	

Bab 5. *Capacity Planning* dan *Resource Utilization*

Golden Rule: Kapasitas yang tidak dipakai tetap dibayar; kapasitas yang tidak direncanakan akan menjadi krisis.

Bab ini mengajarkan bahwa biaya Cloud Data Center sangat ditentukan oleh **utilisasi**. Server, storage, rack, UPS, generator, cooling, lisensi, jaringan, backup, dan SDM tetap membawa biaya walaupun tidak dipakai optimal. Karena itu, *capacity planning* bukan sekadar menghitung kebutuhan perangkat, tetapi menghitung **kapan kapasitas habis, di mana kapasitas menganggur, dan berapa biaya kapasitas yang tidak produktif**.

Dalam outline buku ini, Bab 5 ditempatkan sebagai penghubung antara perencanaan teknologi, SDM, dan biaya. Resource yang harus dihitung mencakup rack, power, cooling, server, CPU, RAM, storage, IOPS, network, public IP, backup, lisensi, dan SDM. Metrik utilisasi mencakup CPU, memory, storage, network throughput, VM density, overcommit ratio, orphaned VM, idle VM, snapshot sprawl, dan backup growth.

5.1 Mengapa *Capacity Planning* Penting

Capacity planning penting karena Cloud Data Center hidup dalam dua risiko ekstrim:

1. **Kapasitas kurang**, sehingga layanan gagal, provisioning tertunda, SLA turun, dan bisnis terganggu.
2. **Kapasitas berlebih**, sehingga modal menganggur, biaya listrik naik, ruang terpakai sia-sia, dan TCO membengkak.

Data Center Handbook mencatat bahwa fasilitas data center sering tidak memenuhi kebutuhan operasional dan kapasitas dari desain awal. Contoh ekstremnya, data center 12 MW yang hanya memakai 50% kapasitas dapat meninggalkan sekitar USD 4–8 juta modal tidak terpakai setiap tahun dalam UPS, generator, chiller, dan perangkat kapital lain. Kesimpulannya jelas: **capacity planning dan resource utilization harus menjadi fokus utama**.

5.1.1 Kapasitas Bukan Hanya Jumlah Server

Banyak organisasi menganggap kapasitas cloud sama dengan jumlah server. Ini keliru. Cloud Data Center adalah sistem berantai. Kapasitas aktual ditentukan oleh komponen yang paling cepat menjadi bottleneck.

Contoh:

- Rack masih kosong, tetapi power per rack sudah penuh.
- CPU masih cukup, tetapi RAM habis.
- Storage masih tersedia, tetapi IOPS tidak cukup.
- Server tersedia, tetapi cooling tidak mampu.
- VM masih bisa dibuat, tetapi backup storage penuh.
- Network uplink masih hidup, tetapi throughput sudah mendekati batas.
- DR site tersedia, tetapi link replikasi tidak cukup.
- Platform cloud sehat, tetapi tim operasi tidak cukup untuk mendukung request.

Rumus berpikir: kapasitas data center = kapasitas terkecil dari semua sistem pendukung. Prinsip ini juga muncul dalam Buku Pegangan Data Center yang menekankan bahwa laporan kapasitas tidak boleh hanya menghitung rack kosong, tetapi harus melihat kapasitas yang benar-benar dapat dipakai.

5.1.2 Kapasitas Menganggur Adalah Biaya

Kapasitas yang belum terpakai tetap menimbulkan biaya:

- ruang tetap harus diamankan;
- UPS tetap harus dipelihara;
- cooling tetap memiliki beban dasar;
- generator tetap diuji;
- perangkat tetap mengalami depresiasi;
- lisensi tetap berjalan;
- support tetap dibayar;
- SDM tetap bekerja;
- monitoring tetap dilakukan;
- audit tetap memerlukan bukti.

PUE juga harus dibaca hati-hati. The Green Grid menjelaskan PUE sebagai rasio **total energi fasilitas** dibanding **energi peralatan IT**; PUE membantu mengukur efisiensi energi operasi data center, tetapi bukan satu-satunya ukuran keberhasilan. (Pusat Keahlian Efisiensi Data Center)

Jika IT load rendah, sebagian konsumsi fasilitas tetap berjalan. Akibatnya biaya per workload bisa tinggi. Karena itu, utilisasi rendah bukan hanya masalah teknis, tetapi **masalah ekonomi**.

5.1.3 Kapasitas Kurang Menjadi Risiko Bisnis

Kapasitas yang kurang akan muncul dalam bentuk:

- provisioning VM tertunda;
- storage request ditolak;
- backup gagal;
- replikasi lambat;
- latency naik;
- aplikasi lambat;
- incident meningkat;
- SLA gagal;
- proyek digital tertunda;
- pembelian mendadak;
- biaya darurat naik.

Data Center Handbook menekankan bahwa DCIM dapat melihat data center sebagai sistem dengan metrik dan kapasitas dari waktu ke waktu, sehingga operator dapat memprediksi kapan resource seperti space, power, cooling, atau connectivity akan habis dan berapa biaya untuk menambah resource baru.

Kalimat tajam: capacity planning yang buruk membuat organisasi membayar dua kali: pertama saat membeli kapasitas salah, kedua saat memperbaiki krisis yang sebenarnya bisa diprediksi.

5.2 Komponen Kapasitas Cloud

Cloud Data Center harus menghitung kapasitas fisik, kapasitas IT, kapasitas layanan, kapasitas operasional, dan kapasitas biaya. Semua saling terkait.

Komponen yang harus dihitung:

- **rack**;
- **power**;
- **cooling**;
- **server**;
- **CPU**;
- **RAM**;
- **storage**;
- **IOPS**;
- **network**;
- **public IP**;
- **backup**;
- **lisensi**;
- **SDM**.

5.2.1 Kapasitas Rack

Rack bukan hanya tempat menaruh server. Rack memiliki batas:

- jumlah U;
- berat perangkat;
- power per rack;
- cooling per rack;
- jalur kabel;
- airflow;
- akses depan/belakang;
- keamanan fisik;
- sensor;
- kapasitas PDU.

Metrik rack:

Metrik	Fungsi
Jumlah rack tersedia	Melihat ruang ekspansi
U terpakai	Melihat kepadatan perangkat
kW per rack	Melihat batas daya
Suhu inlet	Melihat kualitas cooling
PDU load	Melihat risiko overload
Berat per rack	Melihat batas struktur
Port network tersedia	Melihat kesiapan koneksi

Catatan kritis: rack kosong belum tentu kapasitas tersedia. Rack harus memiliki power, cooling, network port, dan jalur kabel yang cukup.

5.2.2 Kapasitas Power

Power adalah salah satu batas paling penting. Perhitungan power harus dimulai dari IT load.

Rumus awal:

IT Load = jumlah perangkat × watt per perangkat / 1.000

Total Facility Power = IT Load × PUE

Buku Pegangan Data Center menjelaskan bahwa daya total fasilitas tidak sama dengan IT load. Fasilitas juga membutuhkan daya untuk UPS losses, PDU losses, cooling, fan, pump, lighting, security, monitoring, dan sistem pendukung lain.

Contoh sederhana:

- IT Load = 200 kW.
- PUE = 1,6.
- Total Facility Power = 200 × 1,6 = 320 kW.
- Margin desain 20%.
- Daya desain = 320 × 1,2 = 384 kW.

5.2.3 Kapasitas Cooling

Cooling harus dihitung dari IT load, karena hampir semua energi IT berubah menjadi panas.

Rumus cepat:

Cooling BTU/h = IT Load kW × 3.412

Cooling TR = BTU/h / 12.000

Contoh:

- IT Load = 300 kW.
- Cooling = 300 × 3.412 = 1.023.600 BTU/h.
- Cooling TR = 1.023.600 / 12.000 = 85,3 TR.
- Dengan margin 20% = 102,4 TR.

Buku Pegangan Data Center memberi contoh bahwa untuk 50 rack dengan rata-rata 6 kW/rack, IT load menjadi 300 kW, total facility power 480 kW pada PUE 1,6, dan kebutuhan cooling sekitar 102,4 TR setelah margin 20%.

5.2.4 Kapasitas Server, CPU, dan RAM

Kapasitas server harus dihitung dalam beberapa lapisan:

- jumlah host fisik;
- total socket;
- total core;
- total RAM;
- kapasitas efektif setelah cadangan HA;
- kapasitas setelah overcommit;
- kapasitas usable untuk VM;
- kapasitas reserved untuk platform;
- kapasitas maintenance.

Metrik compute:

Metrik	Makna
Total physical core	Kapasitas fisik CPU
vCPU allocated	Total vCPU yang sudah dialokasikan
CPU utilization	Pemakaian aktual
CPU ready/wait	Indikasi contention
Total RAM	Kapasitas RAM fisik
RAM allocated	RAM yang dialokasikan ke VM
RAM active/used	RAM yang benar-benar dipakai
Overcommit ratio	Rasio alokasi virtual terhadap fisik
HA reserve	Kapasitas cadangan untuk gagal host

Catatan tajam: CPU sering terlihat aman karena utilisasi rendah, tetapi RAM bisa menjadi pembatas utama.

5.2.5 Kapasitas Storage dan IOPS

Storage harus dihitung bukan hanya dalam TB. Storage juga memiliki batas performa.

Kapasitas storage mencakup:

- raw capacity;
- usable capacity;
- reserved capacity;
- replication overhead;
- snapshot growth;
- backup growth;
- tier storage;
- IOPS;
- latency;
- throughput.

Metrik storage:

Metrik	Makna
Raw capacity	Kapasitas fisik total
Usable capacity	Kapasitas yang bisa dipakai
Allocated capacity	Kapasitas yang sudah dialokasikan
Used capacity	Kapasitas yang benar-benar terpakai
IOPS	Jumlah operasi baca/tulis per detik
Latency	Waktu respons storage
Throughput	Laju transfer data
Snapshot size	Pertumbuhan snapshot
Replication lag	Keterlambatan replikasi
Backup growth	Pertumbuhan backup

Kalimat tajam: storage tidak hanya habis saat TB penuh; storage juga “habis” saat latency membuat aplikasi tidak layak pakai.

5.2.6 Kapasitas Network

Network capacity harus menghitung north-south, east-west, storage traffic, backup traffic, management traffic, dan DR traffic.

Komponen network:

- uplink;
- leaf-spine capacity;
- firewall throughput;
- load balancer throughput;
- east-west bandwidth;
- backup network;
- storage network;
- inter-DC link;
- internet link;
- public IP;
- NAT capacity;
- session table;
- port density.

Virtualisasi dan konsolidasi I/O dapat meningkatkan utilisasi, mengurangi adapter, kabel, perangkat jaringan, power, cooling, dan space dibanding koneksi yang terpisah-pisah. Data Center Virtualization Fundamentals juga menekankan bahwa konvergensi I/O dapat menyederhanakan scaling dan capacity planning karena tidak membutuhkan banyak resource pool terpisah.

\

5.2.7 Kapasitas Backup dan DR

Backup dan DR sering dilupakan dalam capacity planning. Padahal setiap VM baru dapat menambah kebutuhan:

- backup storage;
- backup window;
- backup bandwidth;
- restore capacity;
- replication bandwidth;
- DR compute;
- DR storage;
- DR license;
- DR testing time.

Pertanyaan minimum:

- Berapa data yang dibackup per hari?
- Berapa pertumbuhan backup per bulan?
- Berapa retention?
- Berapa backup window?
- Apakah restore masih masuk SLA?
- Apakah DR site cukup untuk aplikasi kritikal?
- Apakah link replikasi cukup?
- Apakah RPO/RTO realistis?

5.2.8 Kapasitas SDM

Kapasitas SDM adalah bagian dari capacity planning. Jika layanan bertambah tetapi tim tetap, bottleneck akan berpindah dari perangkat ke manusia.

Metrik SDM:

- jumlah tiket per engineer;
- jumlah perubahan per minggu;
- jumlah insiden per bulan;
- waktu provisioning;
- jumlah layanan per engineer;
- jumlah platform yang dikelola;
- jumlah site;
- kebutuhan shift;
- kebutuhan standby;
- jumlah audit evidence;
- jumlah laporan kapasitas dan biaya.

Catatan kritis: cloud yang otomatis sebagian tetap membutuhkan manusia untuk desain, review, insiden, audit, keamanan, dan biaya.

5.3 Utilisasi Resource

Utilisasi resource menunjukkan seberapa efektif kapasitas dipakai. Utilisasi tidak boleh dibaca tunggal. CPU rendah belum tentu buruk jika layanan membutuhkan latency rendah. Storage penuh belum tentu buruk jika growth terkendali. Network burst tinggi belum tentu masalah jika SLA tetap aman.

Metrik penting:

- **CPU utilization**.
- **Memory utilization**.
- **Storage utilization**.
- **Network throughput**.
- **VM density**.
- **Overcommit ratio**.
- **Orphaned VM**.
- **Idle VM**.
- **Snapshot sprawl**.
- **Backup growth**.

5.3.1 CPU dan Memory Utilization

CPU utilization menunjukkan penggunaan prosesor. Memory utilization menunjukkan pemakaian RAM. Keduanya harus dibaca bersama.

Indikasi umum:

Kondisi	Makna
CPU rendah, RAM rendah	VM kemungkinan terlalu besar atau idle
CPU tinggi, RAM rendah	workload CPU intensive
CPU rendah, RAM tinggi	aplikasi memory intensive
CPU tinggi, RAM tinggi	kapasitas perlu ditinjau
CPU ready tinggi	contention pada host
swap tinggi	RAM tidak cukup

Prinsip: jangan langsung menambah CPU/RAM. Lihat pola harian, mingguan, bulanan, dan hubungan dengan performa aplikasi.

5.3.2 Storage Utilization

Storage utilization harus dibaca dalam beberapa lapisan:

- allocated vs used;
- thin provisioning;
- snapshot;
- backup;
- replication;
- growth;
- latency;
- tier;
- orphaned volume.

Masalah umum:

- volume tidak punya owner;
- storage dialokasikan terlalu besar;
- snapshot tidak dihapus;
- backup retention terlalu panjang;
- object storage tumbuh tanpa lifecycle policy;
- file share menjadi tempat arsip liar;
- storage cepat dipakai untuk data dingin.

Kalimat tajam: storage sprawl biasanya bukan masalah disk, tetapi masalah governance.

5.3.3 Network Throughput

Network throughput harus dianalisis per jenis traffic:

- user traffic;
- inter-VM traffic;
- storage traffic;
- backup traffic;
- replication traffic;
- management traffic;
- internet traffic;
- inter-DC traffic.

Indikator penting:

Metrik	Risiko
Throughput tinggi terus-menerus	Link mendekati penuh
Packet loss	Aplikasi lambat/gagal
Latency naik	Masalah path atau congestion
Error interface	Masalah kabel/transceiver/port
Firewall session penuh	Akses aplikasi terganggu
Backup traffic mengganggu produksi	Segmentasi/QoS lemah
DCI jenuh	DR dan replikasi gagal SLA

5.3.4 VM Density dan Overcommit Ratio

VM density adalah jumlah VM per host. Overcommit ratio adalah rasio resource virtual dibanding resource fisik.

Contoh:

- Total physical core = 400 core.
- Total vCPU allocated = 1.200 vCPU.
- vCPU overcommit ratio = 1.200 / 400 = 3:1.

Overcommit bisa sehat jika:

- workload ringan;
- monitoring kuat;
- SLA realistis;
- HA reserve tersedia;
- tidak ada contention;
- growth dipantau.

Overcommit berbahaya jika:

- workload kritikal;
- CPU ready tinggi;
- memory contention;
- storage latency naik;
- host terlalu penuh;
- tidak ada kapasitas saat failover.

5.3.5 Orphaned VM dan Idle VM

Orphaned VM adalah VM yang tidak jelas pemiliknya. **Idle VM** adalah VM yang hidup tetapi hampir tidak digunakan.

Ciri idle VM:

- CPU rata-rata sangat rendah;
- memory aktif rendah;
- network traffic rendah;
- disk I/O rendah;
- tidak ada login;
- tidak ada owner aktif;
- tidak masuk daftar aplikasi kritikal;
- tidak punya tag biaya.

Tindakan:

1. Identifikasi VM.
2. Cari owner.
3. Kirim notifikasi.
4. Tandai masa observasi.
5. Backup jika perlu.
6. Matikan sementara.
7. Hapus setelah approval.
8. Laporkan penghematan.

Catatan praktis: jangan langsung menghapus VM. Gunakan proses decommissioning yang aman dan terdokumentasi.

5.3.6 Snapshot Sprawl dan Backup Growth

Snapshot sprawl terjadi ketika snapshot dibuat tetapi tidak dihapus. Backup growth terjadi ketika data backup tumbuh tanpa kontrol retention.

Risiko snapshot sprawl:

- storage penuh;
- performa turun;
- backup membesar;
- restore membingungkan;
- biaya naik;
- audit sulit.

Risiko backup growth:

- backup window melebar;
- restore lambat;
- storage backup penuh;
- biaya replikasi naik;
- DR tidak realistis.

Kontrol minimum:

- snapshot maksimal beberapa hari sesuai kebijakan;
- snapshot harus punya owner;
- snapshot otomatis harus punya expiry;
- backup retention harus disetujui;
- laporan backup growth bulanan;
- uji restore berkala.

5.4 *Forecasting* Kapasitas 3–5 Tahun

Forecasting kapasitas harus menggabungkan pertumbuhan bisnis, pertumbuhan workload, lifecycle teknologi, biaya energi, dan risiko operasional. Jangan hanya mengambil angka tahun lalu lalu dikalikan persentase sederhana.

Forecasting harus menggabungkan:

- pertumbuhan user;
- pertumbuhan VM;
- pertumbuhan storage;
- pertumbuhan backup;
- kebutuhan DR;
- refresh hardware;
- lifecycle software;
- ekspansi rack;
- biaya listrik;
- kebutuhan SDM;
- perubahan SLA;
- proyek digital baru;
- kebutuhan audit.

Uptime Institute Global Data Center Survey 2024 menyoroti isu resiliency, sustainability, efficiency, staffing, cloud, dan AI, serta metrik operasional seperti facility energy performance, power density, dan server refresh. (Uptime Institute) Ini memperkuat bahwa forecasting kapasitas harus membaca teknologi, energi, staffing, dan lifecycle perangkat secara bersamaan.

5.4.1 Formula Dasar Forecasting

Rumus sederhana:

> **Kebutuhan 3 Tahun = Kapasitas Terpakai Saat Ini × (1 + Growth Tahunan)^3**
>
> **Kebutuhan 5 Tahun = Kapasitas Terpakai Saat Ini × (1 + Growth Tahunan)^5**

Contoh storage:

- Storage terpakai saat ini = 100 TB.
- Growth tahunan = 30%.
- Kebutuhan 3 tahun = 100 × $1{,}3^3$ = 219,7 TB.
- Kebutuhan 5 tahun = 100 × $1{,}3^5$ = 371,3 TB.

Catatan penting: hasil ini belum termasuk margin, backup, replication, DR, snapshot, dan overhead platform.

5.4.2 Forecasting VM

Parameter forecasting VM:

- jumlah VM aktif saat ini;
- pertumbuhan VM per bulan;
- jumlah VM idle;
- jumlah VM yang akan dihentikan;
- proyek baru;
- migrasi aplikasi;
- template VM;
- rata-rata vCPU per VM;
- rata-rata RAM per VM;
- kebutuhan backup per VM;
- kebutuhan DR per VM.

Rumus sederhana:

VM 3 Tahun = VM Aktif + VM Baru - VM Decommission

Contoh:

- VM aktif = 300.
- VM baru per tahun = 80.
- VM decommission per tahun = 30.
- Net growth = 50 VM/tahun.
- VM 3 tahun = 300 + 150 = 450 VM.

5.4.3 Forecasting Storage dan Backup

Storage harus dihitung bersama backup dan retention.

Contoh:

- Data aktif = 100 TB.
- Growth data = 30%/tahun.
- Backup retention efektif = 2× data aktif.
- Snapshot overhead = 10%.
- Replication overhead = 1× untuk DR.

Tahun ke-3:

- Data aktif = 219,7 TB.
- Snapshot = 22 TB.
- Backup = 439,4 TB.
- Replication = 219,7 TB.
- Total kebutuhan terkait data = ±900,8 TB.

Kalimat tajam: storage 100 TB hari ini bisa menjadi hampir 1 PB kebutuhan ekosistem data dalam tiga tahun jika backup, snapshot, dan DR dihitung jujur.

5.4.4 Forecasting Power dan Cooling

Forecasting power harus mengikuti rencana penambahan server, storage, network, dan kepadatan rack.

Parameter:

- jumlah rack;
- kW per rack;
- total IT load;
- target PUE;
- margin;
- refresh hardware;
- densitas perangkat;
- cooling capacity;
- power contract;
- tarif listrik.

Rumus:

IT Load = jumlah rack × rata-rata kW/rack

Total Facility Power = IT Load × PUE

Biaya Energi Tahunan = Total Facility Power × 24 × 365 × tarif listrik

Contoh:

- 20 rack.
- 6 kW/rack.
- IT Load = 120 kW.
- PUE = 1,6.
- Facility Power = 192 kW.
- Tarif = Rp1.500/kWh.
- Biaya tahunan = 192 × 24 × 365 × 1.500 = Rp2.522.880.000.

5.4.5 Forecasting SDM

Jika kapasitas teknis naik, beban operasi ikut naik. Forecasting SDM perlu melihat:

- jumlah VM;
- jumlah layanan;
- jumlah tiket;
- jumlah perubahan;
- jumlah insiden;
- jumlah audit;
- jumlah site;
- jam operasi;
- kebutuhan standby;
- kebutuhan automation;
- tingkat SLA.

Contoh indikator:

Kondisi	Dampak SDM
VM naik 50%	Cloud Ops dan monitoring naik
Storage naik 100%	Storage dan backup engineer naik
DR mulai diterapkan	DR engineer dan incident manager naik
Operasi 24×7	Shift dan service desk naik
Showback/chargeback diterapkan	Cost analyst naik
Audit makin ketat	Security dan dokumentasi naik

5.5 Tool *Open Source* untuk Capacity Planning

Capacity planning membutuhkan data. Data dapat dikumpulkan dari platform cloud, monitoring, inventory, ticketing, log, dan DCIM.

Tool *open source* yang relevan:

Kebutuhan	Tool *Open Source*	Fungsi
Monitoring metrik	Prometheus	CPU, RAM, disk, network, service metrics
Dashboard	Grafana	Visualisasi utilisasi dan tren
Inventory/IPAM/DCIM ringan	NetBox	Rack, perangkat, IP, koneksi, kapasitas
Log	Loki / OpenSearch	Analisis log kapasitas dan error
Cloud platform	OpenStack / OpenNebula	Data VM, tenant, quota, resource pool
Storage	Ceph dashboard	Kapasitas, IOPS, latency, health
Automation	Ansible	Audit konfigurasi dan pengumpulan data
IaC	OpenTofu / Terraform	Tracking resource yang dibuat
Ticketing	GLPI / Zammad	Tiket, request, incident, change
AI lokal	Ollama	Analisis laporan kapasitas dan draft rekomendasi

Prinsip: kapasitas yang tidak diukur tidak bisa direncanakan. Kapasitas yang tidak direncanakan akan dibeli secara panik.

Materi Praktik

Template *Capacity Planning*

Resource	Kapasitas Saat Ini	Utilisasi	Growth/Tahun	Kebutuhan 3 Tahun	Risiko
CPU core					
RAM					
Storage usable					
Backup storage					
Rack					
Power kW					
Cooling kW					
Network Gbps					
Public IP					
IOPS					
VM count					
SDM operasi					

Template Utilisasi Resource

Resource	Metrik	Ambang Perhatian	Ambang Kritis	Aksi
CPU	rata-rata 30 hari	>60%	>80%	Review kapasitas host
RAM	rata-rata 30 hari	>65%	>85%	Tambah RAM/redistribusi VM
Storage	usable used	>70%	>85%	Bersihkan snapshot, tambah kapasitas
IOPS	peak harian	>70%	>90%	Pindah tier, tambah disk/node
Network	throughput uplink	>60%	>80%	Upgrade link/optimasi traffic
Backup	backup window	>70% window	gagal SLA	Optimasi jadwal/kapasitas
Rack power	PDU load	>70%	>80%	Redistribusi beban
Cooling	suhu inlet	mendekati batas	melewati batas	Perbaiki airflow/cooling
VM idle	CPU rendah 30 hari	>10% VM	>20% VM	Decommission review
Snapshot	umur snapshot	>7 hari	>30 hari	Hapus sesuai approval

Angka ambang di atas adalah contoh awal. Setiap organisasi harus menyesuaikan dengan SLA, desain redundansi, tipe workload, dan kebijakan risiko.

Langkah Praktis Capacity Planning 90 Hari

Langkah 1 — Kumpulkan Data Dasar

Kumpulkan:

- jumlah rack;
- power per rack;
- IT load;
- PUE;
- cooling capacity;
- jumlah host;
- total CPU core;
- total RAM;
- total storage usable;
- total VM;
- total backup;
- total network uplink;
- jumlah tiket;
- jumlah insiden;
- jumlah engineer.

Langkah 2 — Pisahkan Kapasitas Fisik dan Kapasitas IT

Kategori	Contoh
Kapasitas fisik	rack, power, cooling, ruang
Kapasitas IT	CPU, RAM, storage, IOPS, network
Kapasitas layanan	VM, backup, DR, firewall policy
Kapasitas operasi	engineer, tiket, shift, change
Kapasitas biaya	budget, OPEX, CAPEX, listrik

Langkah 3 — Hitung Utilisasi

Minimal hitung:

- CPU utilization;
- RAM utilization;
- storage used;
- backup growth;
- network throughput;
- rack power;
- cooling headroom;
- VM idle;
- snapshot sprawl;
- orphaned volume.

Langkah 4 — Identifikasi Bottleneck

Bottleneck dapat muncul pada:

- power;
- cooling;
- RAM;
- storage latency;
- backup window;
- DCI;
- firewall throughput;
- SDM;
- budget.

Langkah 5 — Buat Forecast 3 Tahun

Gunakan rumus:

Kebutuhan 3 Tahun = Utilisasi Saat Ini × (1 + Growth)^3

Tambahkan:

- margin;
- HA reserve;
- backup overhead;
- DR overhead;
- lifecycle refresh;
- proyek baru.

Langkah 6 — Buat Rencana Aksi

Pisahkan rencana menjadi:

- **quick wins**: hapus VM idle, hapus snapshot lama, rapikan backup retention;
- **optimasi**: rightsizing VM, konsolidasi workload, tuning storage;
- **investasi**: tambah host, storage, network, UPS, cooling;
- **governance**: quota, showback, approval, lifecycle layanan;
- **talent**: training capacity planner, cost analyst, monitoring engineer.

Prompt AI — Analisis Capacity Planning

Anda adalah konsultan senior Cloud Data Center.

Analisis data kapasitas berikut:
- Jumlah rack:
- Power total kW:
- IT load kW:
- PUE:
- Cooling capacity:
- Jumlah host:
- Total CPU core:
- Total RAM:
- Total storage usable:
- Storage terpakai:
- Total VM:
- VM idle:
- Backup storage:
- Backup growth per bulan:
- Network uplink:
- Utilisasi network:
- Jumlah engineer:
- Jumlah tiket per bulan:
- Growth user per tahun:
- Growth VM per tahun:
- Growth storage per tahun:

Berikan output:
1. ringkasan kondisi kapasitas
2. bottleneck utama
3. risiko 12 bulan
4. kebutuhan 3 tahun
5. potensi kapasitas menganggur
6. potensi penghematan
7. rekomendasi quick wins 90 hari
8. rekomendasi investasi
9. data tambahan yang harus dikumpulkan
10. risiko jika tidak dilakukan tindakan

Prompt AI — Deteksi Resource Boros

Anda adalah Cloud Cost Optimization Analyst.

Analisis potensi pemborosan resource Cloud Data Center berdasarkan data berikut:
- Daftar VM, owner, vCPU, RAM, storage, CPU avg 30 hari, RAM avg 30 hari, network avg 30 hari
- Daftar snapshot, umur snapshot, ukuran, owner
- Daftar volume storage, owner, attached/unattached, ukuran
- Daftar backup, retensi, ukuran, status terakhir
- Daftar public IP, owner, status digunakan/tidak
- Daftar firewall policy, owner, tanggal terakhir dipakai

Berikan output dalam tabel:
1. resource
2. indikasi pemborosan
3. risiko jika dihapus
4. owner yang harus dikonfirmasi
5. rekomendasi aksi
6. estimasi penghematan
7. prioritas

Prompt AI — Forecasting 3–5 Tahun

Anda adalah Cloud Capacity Planner.

Buat forecasting kapasitas 3 dan 5 tahun untuk Cloud Data Center.

Data awal:
- CPU core terpakai:
- RAM terpakai:
- Storage terpakai:
- Backup terpakai:
- Jumlah VM:
- Jumlah rack:
- IT load kW:
- Network throughput:
- Growth CPU per tahun:
- Growth RAM per tahun:
- Growth storage per tahun:
- Growth backup per tahun:
- Growth VM per tahun:
- Growth network per tahun:
- Target HA reserve:
- Target margin desain:
- Tarif listrik:
- PUE:

Hitung:
1. kebutuhan CPU 3 dan 5 tahun
2. kebutuhan RAM 3 dan 5 tahun
3. kebutuhan storage 3 dan 5 tahun
4. kebutuhan backup 3 dan 5 tahun
5. kebutuhan rack
6. kebutuhan power
7. kebutuhan cooling
8. estimasi biaya energi tahunan
9. risiko bottleneck
10. rekomendasi roadmap investasi

Studi Kasus Singkat

Sebuah Cloud Data Center internal memiliki kondisi berikut:

- 20 rack tersedia.
- 12 rack terisi.
- Rata-rata 5 kW/rack.
- IT load saat ini 60 kW.
- PUE 1,7.
- 300 VM aktif.
- 45 VM idle.
- Storage usable 200 TB.
- Storage terpakai 140 TB.
- Backup storage 120 TB.
- Backup growth 8 TB/bulan.
- Uplink 40 Gbps.
- Peak traffic 22 Gbps.
- Growth VM 20%/tahun.
- Growth storage 30%/tahun.
- Growth backup 35%/tahun.

Analisis cepat:

- Rack terlihat aman karena baru 12 dari 20 rack terisi.
- Storage sudah 70% terpakai.
- Backup growth 8 TB/bulan berarti 96 TB/tahun.
- VM idle 45 dari 300 berarti 15% VM berpotensi boros.
- Network peak 22 Gbps dari 40 Gbps berarti 55%, masih cukup tetapi perlu tren.
- Power perlu dihitung bersama rencana pertumbuhan rack dan PUE.
- Risiko terbesar ada pada **storage, backup growth, dan VM idle**.

Quick wins 90 hari:

1. Konfirmasi owner 45 VM idle.
2. Matikan sementara VM idle setelah approval.
3. Hapus snapshot lama sesuai kebijakan.
4. Review retention backup.
5. Pisahkan backup kritikal dan non-kritikal.
6. Hitung kebutuhan storage 3 tahun.
7. Buat dashboard storage growth.
8. Buat laporan power per rack.
9. Hitung unit cost VM dan storage.
10. Ajukan rencana investasi storage sebelum mencapai 85%.

Ringkasan Bab 5

Capacity planning adalah disiplin untuk memastikan kapasitas Cloud Data Center cukup, efisien, dan dapat dipertanggungjawabkan. Kapasitas bukan hanya jumlah server, tetapi gabungan rack, power, cooling, CPU, RAM, storage, IOPS, network, backup, DR, lisensi, SDM, dan biaya. Utilisasi rendah berarti modal menganggur. Utilisasi terlalu tinggi berarti risiko SLA. Metrik seperti CPU utilization, memory utilization, storage utilization, network throughput, VM density, overcommit ratio, orphaned VM, idle VM, snapshot sprawl, dan backup growth harus dipantau rutin. Forecasting 3–5 tahun harus menggabungkan pertumbuhan user, VM, storage, backup, DR, refresh hardware, lifecycle software, ekspansi rack, biaya listrik, dan kebutuhan SDM. **Cloud Data Center yang matang tidak menunggu kapasitas habis; ia membaca tren, menghapus pemborosan, dan membeli kapasitas berdasarkan data.**

Checklist Akhir Bab 5

Checklist	Status
Total rack dan rack usable diketahui.	
Power per rack dipantau.	
IT load dihitung.	
Total facility power dihitung dengan PUE.	
Cooling capacity dihitung.	
CPU core total dan terpakai diketahui.	
RAM total dan terpakai diketahui.	
Storage raw, usable, allocated, dan used dipisahkan.	
IOPS dan latency storage dipantau.	
Network throughput dan peak traffic dipantau.	
Public IP digunakan secara terkendali.	
Backup growth dilaporkan bulanan.	
VM idle terdeteksi.	
Orphaned VM dan orphaned volume ditindaklanjuti.	
Snapshot memiliki expiry.	
Overcommit ratio dipantau.	

Forecast kapasitas 3 tahun tersedia.	
Forecast kapasitas 5 tahun tersedia.	
Kebutuhan SDM masuk capacity planning.	
Rencana investasi berbasis data, bukan kepanikan.	

Bab 6. *Cost Planning*: CAPEX, OPEX, TCO, dan *Lifecycle Cost*

Golden Rule: Cloud Data Center yang sehat bukan yang paling murah dibangun, tetapi yang seluruh biaya hidupnya dapat dihitung, dikendalikan, dan dijelaskan.

Bab ini adalah pusat pembahasan biaya. Pembaca belajar menyusun biaya Cloud Data Center secara lengkap, bukan hanya menghitung harga server, storage, rack, atau perangkat jaringan. Cloud Data Center membawa biaya sejak tahap perencanaan, desain, pengadaan, implementasi, commissioning, operasi, maintenance, refresh, audit, hingga decommissioning.

Dalam outline buku ini, Bab 6 diarahkan untuk membahas **CAPEX, OPEX, TCO, dan lifecycle cost** sebagai dasar pengambilan keputusan investasi Cloud Data Center. Komponen CAPEX mencakup fasilitas, rack, UPS, generator, PDU, cooling, fire suppression, access control, server, storage, network, security appliance, software, implementasi, dan commissioning. Komponen OPEX mencakup listrik, maintenance, spare part, support vendor, lisensi, konektivitas, SDM, training, audit, asuransi, sewa, security operation, backup media, dan monitoring tools.

Data Center Handbook menempatkan **TCO** sebagai salah satu pendorong strategis data center, bersama agility, resiliency, scalability, reliability, availability, dan sustainability. TCO didefinisikan sebagai total biaya siklus hidup yang mencakup CAPEX seperti tanah, bangunan, desain, konstruksi, perangkat, serta OPEX seperti overhead, utilitas, maintenance, dan repair.

6.1 CAPEX

CAPEX atau *capital expenditure* adalah biaya investasi awal untuk membangun atau memperluas Cloud Data Center. CAPEX biasanya muncul di awal proyek dan menjadi aset yang digunakan selama beberapa tahun.

CAPEX tidak boleh dihitung hanya dari harga perangkat IT. Dalam Cloud Data Center, investasi fisik dan infrastruktur pendukung sering sama pentingnya dengan server. Bahkan pada banyak proyek, biaya bangunan, power, cooling, rack, keamanan fisik, instalasi, dan commissioning dapat menjadi komponen besar.

Komponen CAPEX utama:

- **Tanah/bangunan** jika membangun sendiri.
- **Ruang data center**.
- **Rack**.
- **UPS**.
- **Generator**.
- **PDU**.
- **Cooling**.
- **Fire suppression**.
- **Access control**.
- **Server**.
- **Storage**.
- **Network**.
- **Security appliance**.
- **Software**.
- **Implementasi**.
- **Commissioning**.

Catatan strategis: CAPEX yang rendah belum tentu baik. CAPEX rendah bisa berarti desain kurang redundan, cooling kurang kuat, kapasitas ekspansi terbatas, atau biaya operasi akan membengkak.

6.1.1 CAPEX Fasilitas

CAPEX fasilitas mencakup biaya fisik yang membuat data center layak dan aman untuk menjalankan layanan kritikal.

Komponen fasilitas:

Komponen	Fungsi	Risiko Jika Diabaikan
Tanah/bangunan	Lokasi dan struktur dasar	Risiko lokasi, banjir, akses, ekspansi
Ruang data center	Area white space dan support space	Kapasitas terbatas
Raised floor / slab design	Tata ruang dan distribusi fasilitas	Sulit ekspansi dan maintenance
Rack	Tempat perangkat IT	Kepadatan tidak terkendali
Cabling pathway	Jalur kabel power dan network	Kabel berantakan, sulit audit
Fire suppression	Proteksi kebakaran	Risiko kehilangan layanan total
Access control	Kontrol akses fisik	Risiko akses tidak sah
Sensor lingkungan	Deteksi suhu, kelembaban, air, asap	Gangguan terlambat diketahui

Data Center Handbook menjelaskan bahwa arsitektur data center mencakup mechanical system, electrical distribution, rack and cabling systems, DCIM, disaster recovery, software-defined data center, dan layanan X-as-a-Service. Artinya, biaya fasilitas bukan pelengkap, tetapi bagian dari arsitektur utama.

6.1.2 CAPEX Power

Power adalah salah satu investasi paling kritikal. Kesalahan desain power akan membatasi kapasitas cloud selama bertahun-tahun.

Komponen CAPEX power:

- panel listrik;
- UPS;
- battery system;
- generator;
- fuel system;
- PDU;
- rack PDU;
- ATS/STS jika digunakan;
- grounding;
- monitoring power;
- kabel listrik;
- proteksi listrik;
- commissioning power.

Data Center Handbook menekankan bahwa optimasi TCO power system harus melihat seluruh arsitektur dari grid substation sampai load, serta mempertimbangkan CAPEX dan OPEX seperti losses dan maintenance cost. Praktik baik termasuk memilih perangkat rendah rugi, meminimalkan panjang kabel LV, dan menghindari transformasi tegangan yang tidak perlu.

Kalimat tajam: power yang salah desain tidak hanya menaikkan CAPEX; ia mengunci OPEX tinggi selama umur data center.

6.1.3 CAPEX Cooling

Cooling harus dihitung berdasarkan IT load, density rack, airflow, target PUE, dan rencana pertumbuhan. Cooling yang terlalu kecil menciptakan risiko thermal. Cooling yang terlalu besar menciptakan modal menganggur dan biaya operasi.

Komponen CAPEX cooling:

- CRAC/CRAH;
- chiller jika digunakan;
- pump;
- piping;
- containment;
- airflow management;
- sensor suhu dan kelembaban;
- water treatment jika relevan;
- commissioning cooling;
- sistem monitoring cooling.

Uptime Institute 2024 mencatat bahwa metrik operasional seperti facility energy performance, power density, dan server refresh menjadi indikator penting dalam tren data center modern. (Uptime Institute)

6.1.4 CAPEX IT: Server, Storage, Network, Security

Komponen CAPEX IT adalah perangkat yang langsung menjalankan layanan cloud.

Komponen utama:

Komponen	Contoh Biaya
Server	node compute, management node, spare node
Storage	controller, disk, object storage node, backup appliance jika ada
Network	switch leaf/spine, router, transceiver, kabel fiber
Security	firewall, IDS/IPS, HSM jika digunakan, log collector
Management	server monitoring, jump host, management network
Backup/DR	storage backup, replikasi, DR node
Spare part	disk, PSU, fan, transceiver, kabel

Cloud Data Center modern membutuhkan integrasi compute, storage, network, security, dan orchestration. Arsitektur cloud tidak lagi sekadar tumpukan perangkat, tetapi platform layanan yang dapat di otomasi dan diukur.

6.1.5 CAPEX Software dan Implementasi

Walaupun buku ini mengutamakan tool *open source*, tetap ada biaya implementasi. *Open source* mengurangi ketergantungan lisensi, tetapi tidak menghapus biaya desain, integrasi, hardening, dokumentasi, training, support, dan operasi.

Contoh CAPEX software/implementasi:

- desain arsitektur;
- instalasi platform cloud;
- instalasi monitoring;
- instalasi logging;
- integrasi identity;
- integrasi backup;
- integrasi automation;
- hardening;
- migrasi workload;
- dokumentasi;
- commissioning;
- UAT;
- training awal.

Tool *open source* yang relevan untuk menekan biaya lisensi dan meningkatkan fleksibilitas:

- **OpenStack** atau **OpenNebula** untuk platform private cloud.
- **KVM** untuk virtualisasi.
- **Ceph** untuk storage.
- **Prometheus** untuk metrik.
- **Grafana** untuk dashboard.
- **Loki** atau **OpenSearch** untuk log.
- **Ansible** untuk otomasi.
- **OpenTofu** untuk *infrastructure as code*.
- **NetBox** untuk IPAM dan dokumentasi infrastruktur.
- **Keycloak** untuk identity.
- **Ollama** untuk analisis internal berbasis AI lokal.

Open Compute Project juga mendorong desain data center yang terbuka, kolaboratif, modular, scalable, efisien, dan ramah lingkungan, terutama pada power, cooling, facility operations, dan infrastruktur data center. (Open Compute Project)

6.1.6 Commissioning sebagai CAPEX yang Wajib

Commissioning adalah proses memastikan semua sistem bekerja sesuai desain sebelum layanan produksi dijalankan. Biaya commissioning sering dianggap tambahan, padahal ini adalah biaya pengurangan risiko.

Commissioning harus mencakup:

- pemeriksaan instalasi;
- uji power;
- uji UPS;
- uji generator;
- uji failover;
- uji cooling;
- uji fire suppression;
- uji access control;
- uji network;
- uji storage;
- uji backup;
- uji DR;
- uji monitoring;
- dokumentasi hasil uji.

Catatan kritis: data center yang belum diuji bukan data center siap produksi; ia baru ruang berisi perangkat.

6.2 OPEX

OPEX atau *operational expenditure* adalah biaya berulang untuk menjalankan Cloud Data Center. OPEX sering lebih berbahaya daripada CAPEX karena berjalan terus-menerus dan dapat membengkak perlahan tanpa terlihat.

Komponen OPEX:

- **Listrik**.
- **Maintenance**.
- **Spare part**.
- **Support vendor**.
- **Lisensi**.
- **Konektivitas**.
- **SDM**.
- **Training**.
- **Audit**.
- **Asuransi**.
- **Sewa**.
- **Security operation**.
- **Backup media**.
- **Monitoring tools**.

Brochard dkk. mendefinisikan TCO sebagai biaya sistem selama masa hidupnya. TCO adalah gabungan CAPEX untuk akuisisi dan instalasi serta OPEX untuk maintenance, listrik, dan biaya operasional lain.

6.2.1 OPEX Listrik

Listrik sering menjadi komponen OPEX terbesar. Biaya listrik bukan hanya dari server, tetapi dari total facility power.

Rumus dasar:

Facility Power = IT Load × PUE

Biaya Energi Tahunan = Facility Power kW × 24 × 365 × tarif listrik/kWh

The Green Grid menjelaskan PUE sebagai rasio total energi fasilitas terhadap energi perangkat IT. PUE digunakan untuk membantu mengukur dan meningkatkan efisiensi energi operasi data center. (datacenters.lbl.gov)

Contoh:

- IT Load = 500 kW.
- PUE = 1,6.
- Facility Power = 800 kW.
- Tarif listrik = Rp1.500/kWh.
- Biaya energi tahunan = 800 × 24 × 365 × 1.500.
- Biaya energi tahunan = **Rp10.512.000.000**.

Kalimat tajam: setiap penurunan PUE dan setiap pengurangan IT load langsung berdampak pada OPEX.

6.2.2 OPEX Maintenance dan Spare Part

Maintenance menjaga perangkat tetap andal. Spare part mempercepat pemulihan saat terjadi kegagalan.

Komponen maintenance:

- preventive maintenance UPS;
- preventive maintenance generator;
- preventive maintenance cooling;
- cleaning;
- battery check;
- firmware update;
- health check server;
- health check storage;
- health check network;
- maintenance fire suppression;
- uji access control;
- kalibrasi sensor.

Komponen spare part:

- disk;
- PSU;
- fan;
- transceiver;
- kabel;
- baterai;
- controller;
- network module;
- sensor;
- komponen cooling.

Data Center Handbook menekankan bahwa operasi andal membutuhkan planned maintenance, monitoring untuk mendeteksi hidden failure, tim maintenance yang terlatih, dan kontrak maintenance yang menjamin waktu intervensi serta ketersediaan spare.

6.2.3 OPEX Support Vendor dan Konektivitas

Walaupun menggunakan banyak tool *open source*, dukungan tetap membutuhkan biaya. Dukungan dapat berupa kontrak hardware, support platform, dukungan integrator, atau managed service terbatas.

Komponen support:

- hardware support;
- replacement SLA;
- platform support;
- security support;
- backup support;
- network support;
- remote hands;
- on-site support;
- emergency support.

Komponen konektivitas:

- internet;
- WAN;
- link antar data center;
- link backup;
- link DR;
- interkoneksi;
- public IP;
- DDoS protection jika digunakan;
- monitoring link.

Catatan praktis: konektivitas DR harus dihitung sebagai biaya layanan kritikal. Link murah tetapi tidak cukup bandwidth dapat membuat RPO/RTO tidak realistis.

6.2.4 OPEX SDM dan Training

Cloud Data Center tidak berjalan hanya karena perangkat menyala. Ia membutuhkan engineer, operator, analyst, service desk, security, cost analyst, vendor manager, dan manajemen operasi.

Komponen SDM:

- Data Center Manager;
- Facility Engineer;
- Power & Cooling Engineer;
- Network Engineer;
- Compute Engineer;
- Storage Engineer;
- Virtualization Engineer;
- Cloud Platform Engineer;
- Security Engineer;
- Backup & DR Engineer;
- Monitoring Engineer;
- Automation Engineer;
- FinOps / Cost Analyst;
- Procurement & Vendor Manager;
- Service Desk.

Uptime Institute 2024 Data Center Staffing and Recruitment Survey mencatat bahwa 57% responden menyatakan organisasi mereka meningkatkan pengeluaran terkait gaji, sedangkan hanya 6% yang menurunkannya. Ini menunjukkan bahwa biaya SDM data center merupakan faktor OPEX yang serius, bukan biaya kecil. (Uptime Institute)

Training juga harus masuk OPEX karena teknologi, security threat, automation, audit, dan platform cloud terus berubah.

Catatan tajam: menghemat biaya SDM dengan mengurangi orang kritikal sering berubah menjadi biaya insiden, downtime, audit gagal, dan burnout.

6.2.5 OPEX Security Operation dan Audit

Security operation adalah biaya wajib. Cloud Data Center mengelola banyak tenant, workload, admin, data, dan akses. Tanpa operasi keamanan, risiko akan meningkat.

Komponen security OPEX:

- log storage;
- vulnerability scanning;
- security monitoring;
- incident response;
- access review;
- privileged access review;
- compliance evidence;
- penetration test bila diperlukan;
- security awareness;
- backup security review;
- audit internal;
- audit eksternal.

NIST Cybersecurity Framework 2.0 menyusun pengelolaan risiko keamanan siber dalam fungsi Govern, Identify, Protect, Detect, Respond, dan Recover; pendekatan ini relevan untuk memastikan biaya keamanan tidak hanya membeli tool, tetapi mendukung tata kelola risiko. (Uptime Institute)

6.2.6 OPEX Monitoring Tools

Monitoring tools harus masuk OPEX karena monitoring memerlukan server, storage log, dashboard, alerting, maintenance, dan SDM.

Tool *open source* yang bisa digunakan:

- **Prometheus** untuk metrik.
- **Grafana** untuk dashboard.
- **Loki** untuk log.
- **OpenSearch** untuk pencarian log.
- **LibreNMS** atau **Zabbix** untuk perangkat jaringan dan server.
- **NetBox** untuk inventaris dan DCIM ringan.
- **GLPI** atau **Zammad** untuk tiket.
- **Ansible** untuk otomasi pemeriksaan rutin.

Prinsip: monitoring yang murah tetapi tidak dirawat akan menjadi alarm noise. Monitoring yang dirawat dengan baik menjadi alat pengendali OPEX, kapasitas, dan risiko.

6.3 *Lifecycle Cost*

Lifecycle cost adalah biaya sepanjang umur komponen. Setiap komponen Cloud Data Center memiliki umur berbeda. Karena itu, rencana biaya harus melihat siklus hidup, bukan hanya pembelian awal.

Outline buku ini menekankan bahwa bangunan, cabling, network, storage, dan server tidak berubah dalam ritme yang sama. Data Center Virtualization Fundamentals juga menekankan bahwa keputusan data center saling terkait dan lifecycle perangkat berbeda, sehingga perubahan satu komponen dapat memengaruhi komponen lain.

6.3.1 Umur Komponen Tidak Sama

Contoh umur perencanaan umum:

Komponen	Umur Perencanaan	Catatan
Bangunan	15–30 tahun	Sulit diubah, harus fleksibel
Ruang data center	10–20 tahun	Tergantung desain dan ekspansi
Cabling	7–15 tahun	Perlu desain rapi dan scalable
Rack	10–15 tahun	Tergantung density dan ukuran perangkat
UPS	7–12 tahun	Baterai punya umur lebih pendek
Baterai UPS	3–5 tahun	Harus masuk jadwal penggantian
Generator	10–20 tahun	Tergantung maintenance dan load test
Cooling	10–15 tahun	Tergantung teknologi dan density
Server	3–5 tahun	Tergantung workload dan support
Storage	4–7 tahun	Tergantung growth, performa, media
Network	5–7 tahun	Tergantung bandwidth dan fitur
Security appliance	4–6 tahun	Tergantung throughput dan threat
Software/platform	3–5 tahun	Tergantung lifecycle support
Monitoring/log platform	3–5 tahun	Tergantung volume data

Catatan penting: umur teknis tidak sama dengan umur ekonomis. Perangkat masih menyala belum tentu masih layak secara performa, support, keamanan, atau efisiensi energi.

6.3.2 Biaya Refresh

Refresh adalah penggantian atau pembaruan komponen karena umur, kapasitas, support, keamanan, atau efisiensi.

Pemicu refresh:

- perangkat end-of-support;
- performa tidak cukup;
- power consumption terlalu tinggi;
- kapasitas habis;
- spare part sulit;
- firmware tidak lagi aman;
- SLA tidak tercapai;
- biaya maintenance naik;
- kebutuhan platform baru;
- audit tidak menerima perangkat usang.

Kalimat tajam: perangkat lama tampak hemat karena belum diganti, tetapi bisa menjadi mahal karena boros listrik, sulit di servis, lambat, dan resiko audit.

6.3.3 Biaya Decommissioning

Decommissioning sering dilupakan. Padahal penghentian layanan juga membawa biaya.

Komponen biaya decommissioning:

- migrasi data;
- backup final;
- penghapusan data aman;
- pencabutan kabel;
- pelepasan perangkat;
- update dokumentasi;
- penghapusan asset register;
- disposal e-waste;
- sertifikat penghapusan data;
- audit trail;
- tenaga kerja.

Data Centers of the Future menekankan bahwa dampak lingkungan data center harus dinilai sepanjang lifecycle, termasuk produksi material, konstruksi, penggunaan, hingga pembongkaran; pendekatan Whole Building Lifecycle Assessment melihat dampak dari seluruh fase tersebut.

6.3.4 Lifecycle Cost dan Sustainability

Lifecycle cost tidak bisa dipisahkan dari sustainability. Pilihan perangkat, material bangunan, cooling, power, dan refresh cycle akan mempengaruhi biaya energi, carbon footprint, e-waste, dan biaya operasi.

Open Compute Project menekankan desain terbuka dan kolaboratif untuk infrastruktur data center yang modular, scalable, efisien, dan ramah lingkungan. (Open Compute Project)

Prinsip: sustainability bukan hanya isu lingkungan. Sustainability adalah isu biaya jangka panjang, risiko regulasi, reputasi, dan efisiensi operasi.

6.4 TCO Cloud Data Center

TCO atau *total cost of ownership* adalah total biaya selama umur layanan. Rumus dasarnya:

TCO = CAPEX + OPEX selama umur layanan

Contoh sederhana:

- CAPEX awal = Rp20 miliar.
- OPEX tahunan = Rp5 miliar.
- Umur analisis = 5 tahun.

Maka:

TCO 5 tahun = Rp20 miliar + Rp25 miliar = Rp45 miliar

Rumus ini sederhana, tetapi dalam praktik TCO harus memasukkan refresh, growth, maintenance, downtime risk, training, audit, security, dan decommissioning.

Brochard dkk. menjelaskan TCO sebagai jumlah CAPEX dan OPEX; CAPEX mencakup biaya akuisisi dan instalasi sistem, sedangkan OPEX mencakup maintenance, listrik, dan biaya operasional lain.

6.4.1 Rumus TCO yang Lebih Lengkap

Rumus praktis:

> **TCO 5 Tahun = CAPEX Awal + Σ OPEX Tahunan + Refresh + Upgrade + Training + Audit + Decommissioning**

Komponen:

Komponen	Contoh
CAPEX awal	fasilitas, server, storage, network, security, implementasi
OPEX tahunan	listrik, maintenance, SDM, konektivitas, support
Refresh	server tahun ke-4/5, baterai UPS, disk, network
Upgrade	kapasitas storage, link, cooling, software
Training	cloud, security, automation, cost
Audit	internal, eksternal, compliance
Decommissioning	penghapusan data, disposal, dokumentasi

Catatan kritis: TCO yang tidak memasukkan refresh dan SDM biasanya terlalu optimistis.

6.4.2 Contoh TCO 5 Tahun

Misal:

Komponen	Nilai
CAPEX awal	Rp20.000.000.000
OPEX tahun 1	Rp5.000.000.000
OPEX tahun 2	Rp5.500.000.000
OPEX tahun 3	Rp6.000.000.000
OPEX tahun 4	Rp6.500.000.000
OPEX tahun 5	Rp7.000.000.000
Refresh server/storage	Rp4.000.000.000
Training dan audit 5 tahun	Rp1.000.000.000

Maka:

TCO 5 Tahun = 20 + 5 + 5,5 + 6 + 6,5 + 7 + 4 + 1 = Rp55 miliar

Jika hanya memakai rumus sederhana, TCO terlihat Rp45 miliar. Setelah growth, refresh, training, dan audit dimasukkan, TCO menjadi Rp55 miliar. Selisih Rp10 miliar ini adalah contoh biaya yang sering tersembunyi.

6.4.3 TCO per Layanan

TCO Cloud Data Center harus diterjemahkan menjadi biaya layanan. Tanpa ini, manajemen hanya melihat angka besar, tetapi tidak tahu layanan mana yang mahal.

Contoh unit cost:

Layanan	Satuan
VM kecil	per VM/bulan
VM sedang	per VM/bulan
vCPU	per vCPU/bulan
RAM	per GB/bulan
Storage block	per GB/bulan
Object storage	per GB/bulan
Backup	per GB/bulan
DR	per VM/bulan
Network segment	per segment/bulan
Firewall policy	per policy/bulan
Monitoring	per node/bulan

FinOps Foundation menjelaskan bahwa alokasi biaya diperlukan agar biaya dapat dibagikan kepada pihak yang bertanggung jawab, baik sebagai biaya langsung maupun shared cost. Transparansi ini membantu product manager, engineer, dan pemilik layanan memahami biaya teknologi yang mereka gunakan. (finops.org)

6.4.4 TCO dan *Showback/Chargeback*

TCO menjadi dasar *showback* dan *chargeback*. Tanpa TCO, harga internal hanya angka perkiraan.

- *Showback*: biaya dilaporkan ke pengguna, tetapi belum ditagihkan.
- *Chargeback*: biaya dibebankan ke budget unit pengguna.

FinOps Foundation menjelaskan bahwa perbedaan utama *showback* dan *chargeback* adalah formalitas pembebanan biaya ke anggaran akuntansi; *showback* dapat digunakan untuk menunjukkan biaya kepada kelompok yang bertanggung jawab tanpa harus langsung menagihnya. (finops.org)

Catatan praktis: untuk organisasi yang baru mulai, gunakan *showback* terlebih dahulu. Setelah data matang, barulah *chargeback* dipertimbangkan.

6.5 Resiko Kesalahan Cost Planning

Kesalahan cost planning bisa membuat Cloud Data Center terlihat murah di proposal, tetapi mahal saat berjalan.

Risiko umum:

Kesalahan	Dampak
Hanya menghitung server	Facility, power, cooling, dan SDM terlupakan
Tidak menghitung listrik	OPEX tahunan mengejutkan
Tidak menghitung growth	Kapasitas cepat habis
Tidak menghitung backup	Storage backup membengkak
Tidak menghitung DR	RTO/RPO tidak realistis
Tidak menghitung training	Tim tidak siap
Tidak menghitung audit	Compliance gagal
Tidak menghitung refresh	Perangkat usang tetap dipakai
Tidak menghitung decommissioning	Aset dan data tidak bersih
Tidak menghitung security operation	Risiko insiden meningkat
Tidak menghitung downtime	Biaya risiko tidak terlihat

Kalimat tajam: proposal biaya yang terlalu murah biasanya hanya memindahkan biaya dari awal proyek ke masa operasi.

6.6 Praktik *Open Source* untuk Mengendalikan Biaya

Tool *open source* dapat membantu mengendalikan biaya, tetapi tetap membutuhkan tata kelola.

Kebutuhan Biaya	Tool *Open Source*	Manfaat
Inventory aset	NetBox	Mengetahui perangkat, rack, IP, koneksi
Monitoring resource	Prometheus	Melihat utilisasi CPU, RAM, storage, network
Dashboard biaya/kapasitas	Grafana	Visualisasi tren dan anomali
Log operasi	Loki / OpenSearch	Audit trail dan analisis insiden
Otomasi	Ansible	Mengurangi pekerjaan manual
Provisioning	OpenTofu / Terraform	Resource lebih terdokumentasi
Cloud platform	OpenStack / OpenNebula	Mengelola resource pool
Storage	Ceph	Storage fleksibel berbasis cluster
Ticketing	GLPI / Zammad	Mengukur workload operasi
Dokumentasi	BookStack / Wiki.js	SOP, runbook, bukti audit
AI lokal	Ollama	Membantu analisis laporan biaya tanpa mengirim data keluar

Prinsip: *open source* menekan biaya lisensi, tetapi tidak menghapus biaya kompetensi, integrasi, operasi, security, dokumentasi, dan support.

Materi Praktik

Template TCO 5 Tahun

Komponen	CAPEX	OPEX Tahun 1	OPEX Tahun 2	OPEX Tahun 3	OPEX Tahun 4	OPEX Tahun 5
Facility						
Power						
Cooling						
Server						
Storage						
Network						
Security						
Software / Platform						
SDM						
Training						
Maintenance						
Connectivity						
Backup						
DR						
Audit						
Insurance / sewa						
Decommissioning						
Total						

Template Perencanaan Biaya

Komponen	CAPEX	OPEX Bulanan	OPEX Tahunan	Catatan
Facility				
Power				
Cooling				
Server				
Storage				
Network				
Security				
Software / Platform				
SDM				
Maintenance				
Connectivity				
Backup				
Monitoring				
Training				
Audit				

Template ini selaras dengan lampiran perencanaan biaya dalam outline buku yang memisahkan CAPEX, OPEX bulanan, OPEX tahunan, dan catatan untuk facility, power, cooling, server, storage, network, software, SDM, maintenance, dan connectivity.

Template *Lifecycle Cost*

Komponen	Umur Rencana	Tahun Refresh	Biaya Refresh	Risiko Jika Tidak Diganti
UPS battery	3–5 tahun			Runtime turun
Server	3–5 tahun			Performa/security/support turun
Storage disk	4–6 tahun			Failure meningkat
Network switch	5–7 tahun			Bandwidth/fitur tidak cukup
Firewall/security	4–6 tahun			Throughput dan kontrol lemah
Cooling unit	10–15 tahun			Efisiensi turun
Rack/PDU	7–15 tahun			Density tidak cocok
Monitoring platform	3–5 tahun			Observability lemah
Backup platform	4–6 tahun			Restore tidak memenuhi SLA

Langkah Praktis Menghitung TCO 5 Tahun

Langkah 1 — Tentukan Ruang Lingkup

Tentukan apakah TCO mencakup:

- private cloud penuh;
- perluasan data center;
- refresh server;
- storage expansion;
- backup dan DR;
- monitoring;
- security operation;
- SDM;
- training;
- audit;
- decommissioning.

Langkah 2 — Pisahkan CAPEX dan OPEX

CAPEX:

- fasilitas;
- power;
- cooling;
- rack;
- server;
- storage;
- network;
- security;
- implementasi;
- commissioning.

OPEX:

- listrik;
- maintenance;
- support;
- konektivitas;
- SDM;
- training;
- audit;
- security operation;
- backup media;
- monitoring.

Langkah 3 — Hitung OPEX Tahunan

Gunakan rumus:

> **OPEX Tahunan = listrik + maintenance + support + SDM + konektivitas + training + audit + security + backup + monitoring**

Langkah 4 — Masukkan Growth

Tambahkan asumsi:

- growth VM;
- growth storage;
- growth backup;
- growth network;
- growth listrik;
- growth SDM;
- growth maintenance.

Langkah 5 — Masukkan Refresh

Tambahkan:

- battery replacement;
- server refresh;
- storage expansion;
- network upgrade;
- security refresh;
- monitoring/log storage expansion.

Langkah 6 — Hitung TCO

Gunakan:

> **TCO 5 Tahun = CAPEX Awal + OPEX Tahun 1–5 + Refresh + Upgrade + Audit + Decommissioning**

Langkah 7 — Turunkan ke Unit Cost

Contoh:

> **Biaya per VM per Bulan = Total biaya compute tahunan / jumlah VM aktif / 12**
>
> **Biaya storage per GB per Bulan = Total biaya storage tahunan / total GB usable / 12**
>
> **Biaya backup per GB per Bulan = Total biaya backup tahunan / total GB backup / 12**

Prompt AI — Menghitung TCO 5 Tahun

Anda adalah Cloud Data Center Cost Analyst.

Hitung TCO 5 tahun untuk Cloud Data Center berdasarkan data berikut:

CAPEX:
- Facility:
- Power:
- Cooling:
- Rack:
- Server:
- Storage:
- Network:
- Security:
- Software/platform:
- Implementasi:
- Commissioning:

OPEX tahunan:
- Listrik:
- Maintenance:
- Support vendor:
- Konektivitas:
- SDM:
- Training:
- Audit:
- Security operation:
- Backup media:
- Monitoring tools:
- Asuransi/sewa:

Asumsi:
- Growth OPEX per tahun:
- Tahun refresh server:
- Biaya refresh server:
- Tahun refresh storage:
- Biaya refresh storage:
- Tahun penggantian baterai UPS:
- Biaya penggantian baterai:
- Biaya decommissioning:

Berikan output:
1. tabel TCO 5 tahun
2. total CAPEX
3. total OPEX 5 tahun
4. total refresh
5. total TCO

6. komponen biaya terbesar
7. risiko biaya tersembunyi
8. rekomendasi optimasi biaya
9. estimasi unit cost per VM/bulan
10. estimasi unit cost storage per GB/bulan

Prompt AI — Analisis CAPEX vs OPEX

Anda adalah konsultan strategi Cloud Data Center.

Bandingkan dua skenario:
Skenario A: CAPEX besar di awal untuk membangun kapasitas sendiri.
Skenario B: CAPEX lebih kecil tetapi OPEX lebih tinggi melalui layanan terkelola atau sewa kapasitas.

Gunakan aspek:
- biaya 5 tahun
- risiko kapasitas menganggur
- risiko kekurangan kapasitas
- kebutuhan SDM
- kontrol keamanan
- fleksibilitas ekspansi
- risiko vendor
- kesiapan audit
- dampak ke cashflow
- dampak ke TCO

Berikan rekomendasi untuk manajemen dan CFO.

Prompt AI — Deteksi Biaya Tersembunyi

Anda adalah auditor biaya Cloud Data Center.

Analisis potensi biaya tersembunyi dari daftar berikut:
- VM idle
- orphaned volume
- snapshot lama
- backup retention terlalu panjang
- storage growth tidak terkendali
- lisensi tidak terpakai
- link network underutilized
- server lama boros listrik
- spare part tidak tersedia
- maintenance tidak lengkap
- audit evidence tidak siap
- DR belum diuji
- training tidak direncanakan
- decommissioning tidak dilakukan

Berikan output dalam tabel:
1. jenis biaya tersembunyi
2. indikasi
3. dampak finansial
4. dampak risiko
5. data yang harus dikumpulkan
6. aksi 90 hari
7. prioritas

Studi Kasus Singkat

Sebuah organisasi ingin membangun Cloud Data Center internal untuk layanan VM, storage, backup, DR, monitoring, dan security. Estimasi awal:

- CAPEX fasilitas dan perangkat: Rp20 miliar.
- OPEX tahun pertama: Rp5 miliar.
- Growth OPEX: 10% per tahun.
- Refresh server/storage tahun ke-4: Rp4 miliar.
- Training dan audit selama 5 tahun: Rp1 miliar.
- Decommissioning awal perangkat lama: Rp500 juta.

Perhitungan:

Tahun	Biaya
CAPEX awal	Rp20.000.000.000
OPEX tahun 1	Rp5.000.000.000
OPEX tahun 2	Rp5.500.000.000
OPEX tahun 3	Rp6.050.000.000
OPEX tahun 4	Rp6.655.000.000
OPEX tahun 5	Rp7.320.500.000
Refresh tahun 4	Rp4.000.000.000
Training + audit	Rp1.000.000.000
Decommissioning	Rp500.000.000
Total TCO 5 Tahun	**Rp56.025.500.000**

Analisis:

- Angka awal Rp20 miliar hanya menunjukkan CAPEX.
- TCO 5 tahun mencapai Rp56,025 miliar.
- OPEX 5 tahun lebih besar daripada CAPEX awal.
- Jika listrik, SDM, backup, audit, dan refresh tidak dihitung, keputusan investasi akan terlihat terlalu murah.
- Fokus optimasi harus diarahkan ke utilisasi resource, efisiensi energi, storage growth, VM idle, backup retention, dan automation.

Kesimpulan studi kasus: biaya Cloud Data Center tidak selesai saat perangkat dibeli. Biaya sebenarnya baru terlihat saat layanan berjalan.

Ringkasan Bab 6

Cost planning adalah fondasi pengambilan keputusan Cloud Data Center. CAPEX mencakup tanah/bangunan, ruang data center, rack, UPS, generator, PDU, cooling, fire suppression, access control, server, storage, network, security, software, implementasi, dan commissioning. OPEX mencakup listrik, maintenance, spare part, support, konektivitas, SDM, training, audit, asuransi, sewa, security operation, backup media, dan monitoring. TCO menggabungkan CAPEX dan OPEX sepanjang umur layanan, sedangkan *lifecycle cost* mengingatkan bahwa setiap komponen memiliki umur berbeda. **Keputusan biaya yang benar bukan hanya mencari harga termurah, tetapi menghitung seluruh konsekuensi biaya, risiko, operasi, refresh, security, audit, dan decommissioning selama umur layanan.**

Checklist Akhir Bab 6

Checklist	Status
CAPEX fasilitas dihitung.	
CAPEX power dihitung.	
CAPEX cooling dihitung.	
CAPEX server, storage, network, security dihitung.	
Biaya implementasi dan commissioning dimasukkan.	
OPEX listrik dihitung dengan IT Load dan PUE.	
OPEX maintenance dan spare part dihitung.	
OPEX support vendor dihitung.	
OPEX konektivitas dihitung.	
OPEX SDM dan training dihitung.	
OPEX audit dan security operation dihitung.	
Lifecycle setiap komponen dipetakan.	
Refresh server/storage/network/security direncanakan.	
Biaya decommissioning dimasukkan.	
TCO 5 tahun dihitung.	
Unit cost per layanan mulai dihitung.	
Showback disiapkan dari data TCO.	
Biaya tersembunyi seperti VM idle, snapshot lama, backup growth, dan storage sprawl dipantau.	
Keputusan investasi dapat dijelaskan ke manajemen, finance, procurement, auditor, dan tim teknis.	

Bab 7. *Energy Cost*, PUE, *Sustainability*, dan Efisiensi Operasional

Golden Rule: Energi yang tidak diukur akan menjadi biaya tersembunyi; energi yang tidak dioptimasi akan menjadi beban TCO jangka panjang.

Bab ini menjelaskan bahwa biaya energi adalah salah satu komponen besar dalam Cloud Data Center. Energi tidak boleh hanya dilihat sebagai tagihan listrik bulanan, tetapi sebagai indikator efisiensi desain, utilisasi resource, kualitas operasi, kesehatan cooling, kepadatan rack, dan disiplin capacity planning.

Outline buku ini menempatkan Bab 7 sebagai pembahasan khusus tentang **energy cost, PUE, sustainability, dan efisiensi operasional**, dengan fokus bahwa biaya energi harus dihitung, dimonitor, dan dioptimasi secara rutin.

Data Center Handbook menekankan bahwa digitalisasi, AI, IoT, dan manufaktur digital meningkatkan kebutuhan layanan data center, sehingga pemahaman, monitoring, dan pengelolaan energi menjadi perhatian penting dalam keberlanjutan abad ke-21. IEA juga memperkirakan konsumsi listrik data center global meningkat dari sekitar 485 TWh pada 2025 menjadi sekitar 950 TWh pada 2030, dengan data center AI tumbuh jauh lebih cepat daripada data center secara keseluruhan. (IEA)

7.1 Energi sebagai Biaya Operasional Utama

Cloud Data Center adalah infrastruktur intensif energi. Setiap VM, storage volume, backup job, firewall inspection, database, log, monitoring, dan replikasi membutuhkan energi. Energi tersebut tidak hanya dipakai oleh server, tetapi juga oleh cooling, UPS losses, fan, pump, lighting, security system, monitoring system, dan perangkat pendukung lain.

Secara sederhana, konsumsi energi Cloud Data Center berasal dari dua kelompok besar:

- **Energi IT**, yaitu energi yang dipakai server, storage, network, security appliance, dan perangkat IT lain.
- **Energi non-IT**, yaitu energi yang dipakai cooling, UPS losses, power distribution, fan, pump, lighting, access control, fire system, dan sistem pendukung.

The Green Grid menjelaskan PUE sebagai rasio antara total energi fasilitas dan energi perangkat IT. Artinya, setiap kenaikan energi non-IT akan menaikkan PUE dan memperbesar biaya operasional. (Pusat Keahlian Efisiensi Pusat Data)

7.1.1 Mengapa Biaya Energi Sering Membengkak

Biaya energi Cloud Data Center sering membengkak bukan hanya karena jumlah server bertambah. Penyebabnya lebih luas:

- **Server idle tetap menyala.**
- **VM idle tetap memakai resource.**
- **Storage tumbuh tanpa lifecycle policy.**
- **Backup retention terlalu panjang.**
- **Snapshot menumpuk.**
- **Cooling terlalu dingin.**
- **Airflow buruk.**
- **Hot aisle dan cold aisle bercampur.**
- **Rack terlalu padat tanpa desain cooling.**
- **UPS dan PDU kurang efisien.**
- **Monitoring energi tidak detail.**
- **Tidak ada laporan biaya energi per layanan.**

Kalimat tajam: data center boros energi bukan selalu karena teknologinya tua, tetapi karena resource dibiarkan hidup tanpa pemilik, tanpa metering, dan tanpa disiplin operasi.

7.1.2 Energi sebagai Bagian dari OPEX dan TCO

Energi adalah bagian dari OPEX. Karena OPEX berjalan setiap tahun, dampaknya terhadap TCO sangat besar.

Contoh sederhana:

- Biaya energi tahunan = Rp10 miliar.
- Umur analisis = 5 tahun.
- Total biaya energi 5 tahun = Rp50 miliar.

Jika efisiensi energi dapat menurunkan biaya 10%, penghematan 5 tahun dapat mencapai Rp5 miliar. Karena itu, optimasi energi harus dilihat sebagai keputusan bisnis, bukan hanya inisiatif teknis.

Brochard dkk. menjelaskan bahwa TCO mencakup CAPEX untuk akuisisi dan instalasi serta OPEX seperti maintenance, listrik, dan biaya operasional lain.

7.1.3 Energi dan Utilisasi Resource

Biaya energi sangat terkait dengan utilisasi. Kapasitas yang tidak dipakai tetap dapat mengkonsumsi energi. Bab sebelumnya telah menekankan bahwa resource seperti CPU, RAM, storage, network, backup, rack, power, cooling, dan SDM harus dihitung dalam capacity planning.

Contoh hubungan energi dan utilisasi:

Kondisi	Dampak Energi	Dampak Biaya
Server idle	Tetap mengkonsumsi daya dasar	OPEX naik tanpa nilai bisnis
VM idle	Mengunci CPU/RAM/storage	Kapasitas dan energi terbuang
Storage sprawl	Disk tetap aktif	Biaya listrik dan cooling naik
Backup berlebihan	Storage dan transfer data naik	OPEX backup dan energi naik
Cooling terlalu dingin	Chiller/fan bekerja lebih keras	PUE memburuk
Airflow buruk	Cooling tidak efisien	Energi non-IT naik
Rack tidak seimbang	Hotspot lokal	Cooling overcompensation

Prinsip: efisiensi energi dimulai dari efisiensi IT. Server idle, VM idle, storage liar, dan backup berlebihan harus dibereskan sebelum membeli solusi cooling baru.

7.2 PUE dan Efisiensi Infrastruktur

PUE atau *Power Usage Effectiveness* adalah metrik paling populer untuk mengukur efisiensi energi infrastruktur data center.

Rumus:

PUE = Total Energi Fasilitas / Energi Perangkat IT

Jika:

- Total energi fasilitas = 1.600 kWh.
- Energi perangkat IT = 1.000 kWh.

Maka:

PUE = 1.600 / 1.000 = 1,6

Semakin dekat PUE ke 1,0, semakin kecil energi non-IT yang dipakai. Namun PUE harus dibaca hati-hati. PUE rendah tidak otomatis berarti biaya total rendah jika IT load terlalu besar, server idle banyak, atau workload tidak efisien.

The Green Grid menyatakan bahwa PUE telah menjadi metrik industri yang disukai untuk mengukur efisiensi energi infrastruktur data center dan dikembangkan sebagai alat bagi pengguna akhir untuk meningkatkan efisiensi energi operasi data center. (Pusat Keahlian Efisiensi Pusat Data)

7.2.1 Apa yang Diukur PUE

PUE mengukur efisiensi infrastruktur pendukung, terutama:

- cooling;
- UPS losses;
- power distribution losses;
- lighting;
- fan;
- pump;
- facility support system.

PUE tidak langsung mengukur:

- efisiensi aplikasi;
- efisiensi kode;
- efisiensi database;
- efisiensi VM sizing;
- utilisasi server;
- nilai bisnis layanan;
- biaya per layanan;
- emisi karbon;
- penggunaan air.

Karena itu, PUE harus dipakai bersama metrik lain seperti:

- IT load;
- facility power;
- energy cost;
- server utilization;
- storage growth;
- WUE;
- CUE;
- ERE;
- cost per service;
- carbon intensity;
- service utilization.

Buku Pegangan Data Center juga menjelaskan PUE bersama DCiE, WUE, CUE, dan ERE sebagai keluarga metrik untuk membaca efisiensi energi, air, karbon, dan pemanfaatan ulang energi.

7.2.2 PUE Tidak Boleh Disalahgunakan

Kesalahan umum membaca PUE:

- mengejar PUE rendah tetapi mengabaikan server idle;
- membandingkan PUE antar data center tanpa memperhatikan iklim, desain, umur fasilitas, dan beban kerja;
- menganggap PUE sebagai satu-satunya indikator keberhasilan;
- tidak memisahkan energi IT dan energi facility secara benar;
- menghitung PUE hanya saat kondisi ideal;
- tidak mencatat variasi harian, musiman, dan beban puncak.

Kalimat tajam: PUE adalah termometer efisiensi infrastruktur, bukan rapor lengkap kesehatan Cloud Data Center.

7.2.3 Data yang Harus Dikumpulkan untuk PUE

Data Center Handbook memberikan daftar item yang direkomendasikan untuk diukur dan dilaporkan dalam efisiensi data center, termasuk airflow, fan power, set point temperature, return/supply air temperature, chiller power, pump power, rack power, total IT equipment power, annual electricity use, peak power, power factor, dan area data center.

Data minimum:

Data	Tujuan
Total facility power	Menghitung energi total
IT equipment power	Menghitung energi IT
UPS load	Melihat efisiensi power chain
PDU/rack power	Melihat distribusi beban
Cooling power	Melihat beban pendinginan
Chiller/pump/fan power	Melihat efisiensi mekanikal
Suhu inlet rack	Mendeteksi risiko thermal
Suhu return air	Membaca efektivitas airflow
Kelembapan	Menjaga lingkungan operasi
Energy bill	Validasi biaya aktual
Peak demand	Mengelola beban puncak
Power factor	Menilai kualitas penggunaan listrik

7.3 *Energy Cost Formula*

Rumus dasar biaya energi:

Biaya Energi Tahunan = Facility Power kW × 24 × 365 × Tarif listrik/kWh

Langkah perhitungan:

1. Hitung IT Load.
2. Hitung Facility Power menggunakan PUE.
3. Kalikan dengan jam operasi setahun.
4. Kalikan dengan tarif listrik.

Rumus pendukung:

Facility Power = IT Load × PUE

Energi Tahunan kWh = Facility Power kW × 24 × 365

Biaya Energi Tahunan = Energi Tahunan kWh × Tarif listrik/kWh

7.3.1 Contoh Perhitungan

Diketahui:

- IT Load = 500 kW.
- PUE = 1,6.
- Tarif listrik = Rp1.500/kWh.

Maka:

Facility Power = 500 × 1,6 = 800 kW

Biaya Energi Tahunan = 800 × 24 × 365 × 1.500

Biaya Energi Tahunan = Rp10.512.000.000/tahun

Angka ini selaras dengan contoh dalam outline Bab 7.

7.3.2 Dampak Perubahan PUE terhadap Biaya

Misal IT Load tetap 500 kW dan tarif listrik Rp1.500/kWh.

PUE	Facility Power	Biaya Energi Tahunan
1,8	900 kW	Rp11.826.000.000
1,6	800 kW	Rp10.512.000.000
1,4	700 kW	Rp9.198.000.000
1,3	650 kW	Rp8.541.000.000
1,2	600 kW	Rp7.884.000.000

Penurunan PUE dari 1,6 ke 1,4 pada IT Load 500 kW dapat menghemat sekitar:

Rp10.512.000.000 - Rp9.198.000.000 = Rp1.314.000.000/tahun

Catatan strategis: penghematan energi yang terlihat kecil secara teknis dapat menjadi angka besar dalam TCO 5 tahun.

7.3.3 Dampak Pengurangan IT Load

PUE bukan satu-satunya jalan efisiensi. Mengurangi IT Load juga langsung mengurangi Facility Power.

Misal:

- PUE = 1,6.
- Tarif listrik = Rp1.500/kWh.
- IT Load turun dari 500 kW menjadi 450 kW.

Maka:

- Facility Power lama = 500 × 1,6 = 800 kW.
- Facility Power baru = 450 × 1,6 = 720 kW.
- Penghematan power = 80 kW.
- Penghematan tahunan = 80 × 24 × 365 × 1.500 = **Rp1.051.200.000/tahun**.

Aksi yang dapat menurunkan IT Load:

- matikan server idle;
- matikan VM idle;
- hapus orphaned VM;
- hapus orphaned volume;
- rapikan snapshot;
- kurangi backup tidak perlu;
- rightsizing VM;
- konsolidasi workload;
- refresh perangkat lama yang boros;
- gunakan storage tiering.

7.3.4 Biaya Energi per Layanan

Cloud Data Center profesional harus mulai menghitung biaya energi per layanan.

Contoh pendekatan sederhana:

> **Biaya Energi per VM = Total biaya energi tahunan × porsi compute / jumlah VM aktif / 12**

Contoh:

- Total biaya energi tahunan = Rp10.512.000.000.
- Porsi biaya energi untuk compute = 60%.
- Jumlah VM aktif = 1.000.

Maka:

- Biaya energi compute = Rp10.512.000.000 × 60% = Rp6.307.200.000.
- Biaya energi per VM per bulan = Rp6.307.200.000 / 1.000 / 12.
- Biaya energi per VM per bulan = **Rp525.600**.

Angka ini belum termasuk server depreciation, storage, network, SDM, maintenance, backup, security, dan audit. Namun ia membantu menunjukkan bahwa VM tidak pernah gratis.

7.4 *Sustainability* dan Cost

Sustainability bukan hanya isu lingkungan. Dalam Cloud Data Center, sustainability adalah isu biaya, risiko, reputasi, regulasi, energi, air, karbon, dan lifecycle.

Efisiensi energi harus dilihat dari empat sisi:

- **Biaya:** listrik dan cooling menekan OPEX.
- **Kapasitas:** power dan cooling membatasi pertumbuhan layanan.
- **Risiko:** energi dan cooling yang buruk mengancam SLA.
- **Keberlanjutan:** konsumsi listrik, air, dan karbon harus dikendalikan.

Brochard dkk. menjelaskan bahwa optimasi pendinginan, *free cooling*, pemanfaatan panas buangan, energi terbarukan, dan integrasi sistem manajemen dapat mempengaruhi PUE, ERE, dan TCO secara signifikan.

7.4.1 Optimasi Cooling

Cooling biasanya menjadi komponen besar dalam energi non-IT. Optimasi cooling harus dimulai dari airflow.

Praktik dasar:

- rapikan hot aisle dan cold aisle;
- pasang blanking panel;
- tutup celah rack;
- hindari campuran udara panas dan dingin;
- monitor suhu inlet rack;
- gunakan containment jika sesuai;
- naikkan set point secara hati-hati;
- gunakan fan dengan kontrol variabel;
- pantau chiller, pump, dan fan power;
- lakukan thermal mapping.

Panduan DOE/FEMP 2024 untuk desain data center hemat energi mencakup praktik terbaik pada sistem IT, kondisi lingkungan, air management, cooling, electrical systems, dan heat recovery. Panduan tersebut menekankan bahwa efisiensi energi pada sistem IT dan kondisi lingkungan memiliki efek berantai ke penghematan energi sistem mekanikal dan elektrikal. (The Department of Energy's Energy.gov)

7.4.2 *Free Cooling*

Free cooling terjadi saat chiller tidak perlu bekerja penuh untuk menghasilkan air dingin karena kondisi lingkungan memungkinkan penggunaan cooling tower atau dry cooler. Brochard dkk. menjelaskan bahwa *free cooling* dapat dimulai ketika perbedaan suhu antara air dingin menuju CRAH/RDHx/DWC loop dan suhu luar cukup kecil; menaikkan suhu ruang dan suhu air dapat memperbesar peluang *free cooling*, menurunkan PUE, dan menurunkan TCO.

Namun *free cooling* tidak selalu cocok untuk semua lokasi. Faktor yang perlu dinilai:

- suhu luar;
- kelembapan;
- kualitas udara;
- kontaminasi;
- kebutuhan filtrasi;
- desain cooling saat ini;
- risiko operasional;
- CAPEX retrofit;
- penghematan OPEX;
- dampak terhadap SLA.

Catatan kritis: *free cooling* bukan sekadar membeli perangkat baru. Ia adalah keputusan desain berbasis iklim, risiko, operasi, dan TCO.

7.4.3 Pemanfaatan Panas Buangan

Data center menghasilkan panas. Panas ini biasanya dibuang, tetapi pada desain tertentu dapat dimanfaatkan kembali.

Contoh pemanfaatan:

- pemanas kantor di sekitar data center;
- pemanas air;
- pemanas bangunan terdekat;
- proses industri tertentu;
- integrasi dengan sistem pendinginan lanjutan.

Brochard dkk. menjelaskan bahwa pemanfaatan panas buangan paling sederhana adalah menggunakannya untuk kebutuhan pemanasan, tetapi tantangannya adalah transportasi panas, suhu panas yang cukup, jarak ke pengguna panas, dan sifat kebutuhan panas yang musiman.

ERE atau *Energy Reuse Effectiveness* membantu mengakui manfaat pemanfaatan ulang energi. Buku Pegangan Data Center menjelaskan bahwa ERE mengukur manfaat pemanfaatan ulang energi, misalnya panas buangan untuk memanaskan gedung sekitar atau air domestik.

7.4.4 Energi Terbarukan dan Carbon Awareness

Energi terbarukan dapat mengurangi jejak karbon, tetapi harus dianalisis realistis. Data center tetap membutuhkan reliability, redundancy, dan kualitas daya. Karena itu, energi terbarukan perlu dilihat bersama:

- kebutuhan beban 24×7;
- profil produksi energi;
- penyimpanan energi;
- kontrak listrik;
- backup power;
- risiko grid;
- carbon intensity;
- biaya energi;
- compliance;
- reputasi.

IEA memperkirakan pembangkitan listrik untuk memenuhi kebutuhan data center global naik dari 460 TWh pada 2024 menjadi lebih dari 1.000 TWh pada 2030 dan 1.300 TWh pada 2035 dalam skenario dasar. Dalam lima tahun ke depan, tambahan permintaan dipenuhi oleh kombinasi energi terbarukan, gas alam, batu bara, dan nuklir. (IEA)

Kalimat tajam: energi terbarukan penting, tetapi efisiensi tetap nomor satu. Energi bersih yang dipakai untuk menjalankan server idle tetap pemborosan.

7.5 Efisiensi Operasional

Efisiensi energi tidak cukup dilakukan sekali saat desain. Ia harus menjadi disiplin operasi harian, mingguan, bulanan, dan tahunan.

Efisiensi operasional mencakup:

- monitoring PUE;
- monitoring IT load;
- monitoring rack power;
- monitoring suhu rack;
- monitoring cooling;
- deteksi server idle;
- deteksi VM idle;
- pengendalian snapshot;
- pengendalian backup growth;
- capacity review;
- energy review;
- laporan biaya energi;
- target efisiensi tahunan.

Data Center Handbook mencantumkan pengukuran seperti rack power usage, total IT equipment power, chiller power, pump power, supply/return air temperature, annual electricity use, peak power, dan power factor sebagai bagian dari pelaporan efisiensi data center.

7.5.1 Rutinitas Harian

Rutinitas harian:

- cek alarm power;
- cek alarm cooling;
- cek suhu inlet rack;
- cek status UPS;
- cek status generator jika ada alarm;
- cek PDU load pada rack kritikal;
- cek anomali konsumsi listrik;
- cek VM atau host dengan utilisasi ekstrem;
- cek backup job yang memperpanjang beban malam;
- cek dashboard monitoring.

Output harian:

- log kondisi energi;
- daftar alarm;
- daftar anomali;
- tindakan koreksi;
- eskalasi jika diperlukan.

7.5.2 Rutinitas Mingguan

Rutinitas mingguan:

- review tren IT load;
- review tren facility power;
- review suhu rack;
- review rack dengan power tinggi;
- review VM idle;
- review host underutilized;
- review snapshot lama;
- review storage growth;
- review backup growth;
- review cooling set point;
- review airflow issue.

Output mingguan:

- daftar peluang penghematan;
- daftar risiko thermal;
- daftar resource idle;
- daftar tindakan optimasi.

7.5.3 Rutinitas Bulanan

Rutinitas bulanan:

- hitung PUE bulanan;
- hitung biaya energi bulanan;
- hitung biaya energi per layanan;
- hitung biaya energi per VM;
- review trend PUE;
- review penggunaan listrik terhadap kapasitas;
- review efek decommissioning resource;
- review target efisiensi;
- laporkan ke manajemen.

Output bulanan:

- laporan PUE;
- laporan energi;
- laporan biaya;
- laporan penghematan;
- laporan risiko;
- rekomendasi tindakan.

7.5.4 Rutinitas Tahunan

Rutinitas tahunan:

- audit energi;
- review target PUE;
- review capacity plan;
- review tarif listrik;
- review kontrak energi;
- review cooling strategy;
- review server refresh;
- review sustainability target;
- review WUE/CUE bila data tersedia;
- review roadmap efisiensi.

Output tahunan:

- baseline energi;
- target efisiensi tahun depan;
- rencana investasi;
- rencana retrofit;
- rencana refresh;
- rencana sustainability.

7.6 Tool *Open Source* untuk Monitoring Energi dan Efisiensi

Tool *open source* dapat membantu membaca energi dan efisiensi secara lebih disiplin. Tool bukan pengganti meter listrik, tetapi dapat menggabungkan data dari PDU, UPS, sensor, server, cloud platform, storage, dan ticketing.

Kebutuhan	**Tool *Open Source***	**Fungsi**
Monitoring metrik	Prometheus	Mengambil metrik power, suhu, CPU, RAM, storage
Dashboard	Grafana	Visualisasi PUE, IT load, suhu, rack power
Monitoring perangkat	Zabbix / LibreNMS	UPS, PDU, switch, server, sensor
Log	Loki / OpenSearch	Analisis event power, cooling, alarm
Dokumentasi rack/IP	NetBox	Hubungkan rack, perangkat, lokasi, dan kapasitas
Otomasi	Ansible	Audit konfigurasi dan pengambilan data
Ticketing	GLPI / Zammad	Catat tindakan, insiden, dan perubahan
AI lokal	Ollama	Analisis laporan energi dan rekomendasi efisiensi

Prinsip: dashboard energi harus menjawab pertanyaan bisnis, bukan hanya menampilkan grafik. Pertanyaan utamanya: **berapa biaya, apa penyebabnya, apa risikonya, dan aksi apa yang harus dilakukan?**

Materi Praktek

Checklist Efisiensi Energi

Pertanyaan	Ya/Tidak	Catatan
Apakah PUE diukur rutin?		
Apakah total facility power diketahui?		
Apakah IT load diketahui?		
Apakah biaya energi bulanan dihitung?		
Apakah server idle terdeteksi?		
Apakah VM idle dimatikan setelah approval?		
Apakah suhu rack dimonitor?		
Apakah cooling over-provisioned?		
Apakah airflow rapi?		
Apakah blanking panel digunakan?		
Apakah hot aisle dan cold aisle tidak bercampur?		
Apakah rack power dimonitor?		
Apakah backup growth dimonitor?		
Apakah snapshot lama dibersihkan?		
Apakah ada laporan biaya energi per layanan?		
Apakah ada target efisiensi tahunan?		
Apakah WUE/CUE mulai dipertimbangkan?		
Apakah ada rencana audit energi?		

Template Laporan Energi Bulanan

Item	Nilai	Catatan
Bulan laporan		
Total facility energy kWh		
IT equipment energy kWh		
PUE		
Facility power rata-rata kW		
IT load rata-rata kW		
Peak power kW		
Tarif listrik/kWh		
Biaya energi bulanan		
Biaya energi tahunan proyeksi		
Rack dengan power tertinggi		
Suhu inlet tertinggi		
Jumlah VM idle		
Jumlah server idle		
Snapshot lama		
Backup growth		
Potensi penghematan		
Risiko utama		
Aksi bulan ini		
Target bulan depan		

Template Perhitungan Biaya Energi

Parameter	Nilai
IT Load kW	
PUE	
Facility Power kW	
Tarif listrik/kWh	
Jam operasi per hari	24
Hari per tahun	365
Biaya energi tahunan	

Rumus:

Facility Power kW = IT Load kW × PUE

Biaya Energi Tahunan = Facility Power kW × 24 × 365 × Tarif listrik/kWh

Contoh:

IT Load = 500 kW
PUE = 1,6
Facility Power = 500 × 1,6 = 800 kW
Tarif listrik = Rp1.500/kWh

Biaya Energi Tahunan = 800 × 24 × 365 × 1.500
Biaya Energi Tahunan = Rp10.512.000.000/tahun

Langkah Praktis Efisiensi Energi 90 Hari

Langkah 1 — Buat Baseline Energi

Kumpulkan:

- tagihan listrik 12 bulan terakhir;
- total facility power;
- IT equipment power;
- PUE;
- rack power;
- cooling power;
- suhu inlet rack;
- data UPS/PDU;
- jumlah server;
- jumlah VM;
- storage terpakai;
- backup growth.

Langkah 2 — Temukan Pemborosan IT

Cari:

- server idle;
- VM idle;
- VM oversized;
- orphaned VM;
- orphaned volume;
- snapshot lama;
- backup berlebihan;
- storage tanpa owner;
- aplikasi non-produksi yang berjalan 24×7.

Langkah 3 — Optimasi Airflow

Lakukan:

- rapikan kabel;
- pasang blanking panel;
- tutup celah rack;
- pisahkan udara panas dan dingin;
- periksa arah airflow server;
- monitor suhu inlet;
- identifikasi hotspot;
- evaluasi containment.

Langkah 4 — Review Cooling

Periksa:

- set point suhu;
- chiller load;
- fan speed;
- pump power;
- cooling redundancy;
- rack hotspot;
- overcooling;
- potensi *free cooling*;
- potensi retrofit.

Langkah 5 — Hitung Dampak Biaya

Hitung:

- biaya energi tahunan saat ini;
- biaya energi jika PUE turun;
- biaya energi jika IT Load turun;
- penghematan dari VM idle;
- penghematan dari server consolidation;
- penghematan dari optimasi cooling.

Langkah 6 — Laporkan ke Manajemen

Laporan harus berisi:

- kondisi saat ini;
- biaya energi;
- PUE;
- risiko;
- peluang penghematan;
- aksi cepat;
- investasi yang diperlukan;
- target efisiensi tahunan.

Prompt AI — Analisis Efisiensi Energi

Anda adalah konsultan senior Cloud Data Center untuk efisiensi energi.

Analisis data berikut:
- IT Load kW:
- Facility Power kW:
- PUE:
- Tarif listrik/kWh:
- Total rack:
- Rack aktif:
- Rack power tertinggi:
- Suhu inlet rack tertinggi:
- Cooling power:
- Jumlah server:
- Jumlah server idle:
- Jumlah VM:
- Jumlah VM idle:
- Storage terpakai:
- Backup growth per bulan:
- Snapshot lama:
- Total biaya energi bulanan:

Berikan output:
1. ringkasan kondisi energi
2. estimasi biaya energi tahunan
3. interpretasi PUE
4. risiko cooling dan airflow
5. indikasi pemborosan IT
6. peluang penghematan 90 hari
7. rekomendasi monitoring
8. data tambahan yang harus dikumpulkan
9. target efisiensi tahunan
10. rekomendasi untuk manajemen

Prompt AI — Simulasi Dampak PUE terhadap Biaya

Anda adalah Cloud Data Center Cost Analyst.

Buat simulasi biaya energi tahunan dengan data:
- IT Load kW:
- Tarif listrik/kWh:
- skenario PUE: 1,8; 1,6; 1,4; 1,3; 1,2

Hitung untuk setiap skenario:
1. facility power
2. energi tahunan kWh
3. biaya energi tahunan
4. selisih biaya dibanding PUE saat ini
5. rekomendasi teknis untuk mencapai PUE lebih baik

Tampilkan dalam tabel yang mudah dibaca oleh CFO, Data Center Manager, Facility Engineer, dan Cloud Ops.

Prompt AI — Deteksi Pemborosan Energi Cloud

Anda adalah auditor efisiensi operasional Cloud Data Center.

Analisis potensi pemborosan energi dari data:
- daftar server, power draw, utilisasi CPU, utilisasi RAM
- daftar VM, owner, CPU avg, RAM avg, storage, status backup
- daftar rack, power kW, suhu inlet, suhu outlet
- daftar snapshot, umur, ukuran, owner
- daftar backup, retensi, ukuran, growth
- data cooling, set point, alarm, fan speed
- data PDU dan UPS

Berikan output:
1. resource boros energi
2. indikasi pemborosan
3. dampak biaya
4. dampak risiko
5. aksi koreksi
6. owner yang harus menyetujui
7. estimasi penghematan
8. prioritas 90 hari

Studi Kasus Singkat

Sebuah Cloud Data Center internal memiliki data berikut:

- IT Load = 500 kW.
- PUE = 1,6.
- Facility Power = 800 kW.
- Tarif listrik = Rp1.500/kWh.
- 1.000 VM aktif.
- 150 VM idle.
- 20 server underutilized.
- Storage terpakai 300 TB.
- Backup growth 20 TB/bulan.
- Beberapa rack memiliki suhu inlet lebih tinggi dari rata-rata.
- Snapshot lama mencapai 40 TB.

Perhitungan energi:

Biaya Energi Tahunan = 800 × 24 × 365 × 1.500 = Rp10.512.000.000/tahun

Analisis:

- Biaya energi sudah masuk kategori strategis.
- 150 VM idle berarti 15% VM tidak produktif.
- 20 server underutilized dapat menjadi target konsolidasi.
- Snapshot lama 40 TB menambah konsumsi storage dan backup.
- Backup growth 20 TB/bulan perlu review retention.
- Suhu inlet tinggi menunjukkan potensi masalah airflow.
- PUE 1,6 masih bisa dioptimasi jika airflow, cooling, dan IT utilization diperbaiki.

Aksi 90 hari:

1. Validasi owner 150 VM idle.
2. Matikan VM idle setelah approval.
3. Konsolidasi workload dari server underutilized.
4. Hapus snapshot lama sesuai kebijakan.
5. Review backup retention.
6. Rapikan airflow rack panas.
7. Monitor suhu inlet per rack.
8. Hitung biaya energi per VM.
9. Buat laporan PUE bulanan.
10. Tetapkan target efisiensi energi tahunan.

Ringkasan Bab 7

Energi adalah komponen besar dalam OPEX Cloud Data Center. Biaya energi tidak hanya berasal dari server, tetapi juga cooling, UPS losses, fan, pump, lighting, security system, monitoring system, dan fasilitas pendukung. PUE membantu mengukur efisiensi infrastruktur dengan membandingkan total energi fasilitas terhadap energi perangkat IT. Namun PUE bukan satu-satunya ukuran keberhasilan. Cloud Data Center juga harus membaca IT utilization, server idle, VM idle, storage growth, backup growth, airflow, suhu rack, cooling efficiency, WUE, CUE, ERE, dan biaya energi per layanan. **Efisiensi energi bukan hanya isu lingkungan; ia adalah isu biaya, kapasitas, risiko, SLA, audit, dan TCO. Cloud Data Center yang matang tidak hanya menghitung listrik, tetapi mengubah data energi menjadi keputusan operasional dan investasi yang lebih cerdas.**

Checklist Akhir Bab 7

Checklist	Status
PUE diukur rutin.	
Total facility power diketahui.	
IT load diketahui.	
Biaya energi bulanan dihitung.	
Biaya energi tahunan diproyeksikan.	
Rack power di monitor.	
Suhu inlet rack dimonitor.	
Cooling power di monitor.	
Airflow dievaluasi.	
Hot aisle/cold aisle rapi.	
Server idle terdeteksi.	
VM idle ditindaklanjuti.	
Snapshot lama dikendalikan.	
Backup growth direview.	
Biaya energi per layanan mulai dihitung.	
Target efisiensi tahunan ditetapkan.	

WUE/CUE/ERE mulai dipertimbangkan jika data tersedia.	
Audit energi masuk agenda tahunan.	
Dashboard energi tersedia untuk facility, cloud ops, finance, dan manajemen.	

Bab 8. *Chargeback*, *Showback*, *Pricing*, dan *Unit Economics Cloud Service*

Golden Rule: Cloud Data Center yang biayanya tidak ditagihkan atau setidaknya ditampilkan akan selalu dianggap gratis, dan resource yang dianggap gratis hampir pasti diboroskan.

Bab ini menjelaskan bagaimana biaya Cloud Data Center diterjemahkan menjadi **biaya layanan**. Setelah Bab 5 membahas kapasitas, Bab 6 membahas TCO, dan Bab 7 membahas biaya energi, Bab 8 mengubah semua biaya tersebut menjadi bahasa yang dapat dipahami oleh pengguna, finance, procurement, manajemen, dan tim teknis.

Dalam outline buku ini, Bab 8 diarahkan untuk membahas *chargeback*, *showback*, *pricing*, dan *unit economics* sebagai cara agar Cloud Data Center tidak hanya terlihat sebagai pusat biaya besar, tetapi sebagai **platform layanan yang biaya dan nilainya dapat dijelaskan**.

Konsep ini selaras dengan karakteristik *measured service* dalam definisi cloud NIST: sistem cloud menggunakan kemampuan *metering* untuk mengontrol, mengoptimasi, melaporkan, dan memberi transparansi konsumsi resource kepada penyedia maupun pengguna layanan. (NIST Publikasi Teknik)

8.1 Mengapa *Chargeback* dan *Showback* Penting

Tanpa *chargeback* atau *showback*, pengguna akan merasa resource cloud gratis. Akibatnya, permintaan VM, storage, backup, network, dan security policy tidak dikendalikan oleh kesadaran biaya.

Dampak umumnya:

- **VM dibiarkan hidup.**
- **Storage membesar tanpa pemilik data.**
- **Snapshot menumpuk.**
- **Backup tidak terkendali.**
- **Biaya listrik naik.**
- **Kapasitas habis tanpa alasan jelas.**
- **TCO meningkat tanpa terlihat.**
- **Finance sulit menjelaskan biaya cloud.**
- **Tim teknis disalahkan saat kapasitas habis.**
- **Manajemen sulit membedakan layanan bernilai dan layanan boros.**

Data Center Handbook menjelaskan bahwa tanpa model biaya internal yang efektif, organisasi cenderung memakai model seperti ekonomi terpusat: unit bisnis mengonsumsi kapasitas tanpa insentif memilih kapasitas yang tepat. Dampaknya adalah surplus pada

sebagian resource, kekurangan pada resource lain, alokasi tidak optimal, dan pricing internal yang tidak mencerminkan kebutuhan bisnis nyata.

8.1.1 Perbedaan Showback dan Chargeback

Aspek	*Showback*	*Chargeback*
Tujuan	Menampilkan biaya pemakaian	Membebankan biaya ke unit pengguna
Dampak anggaran	Belum memotong budget unit	Memotong atau membebani budget unit
Cocok untuk	Tahap awal transparansi biaya	Tahap matang pengendalian biaya
Risiko resistensi	Lebih rendah	Lebih tinggi
Data yang dibutuhkan	Cukup akurat untuk edukasi	Harus akurat dan disetujui finance
Manfaat utama	Membangun kesadaran biaya	Mengubah perilaku konsumsi resource

FinOps Foundation menjelaskan bahwa *showback* dapat menunjukkan biaya kepada kelompok yang bertanggung jawab tanpa langsung membebankan biaya ke sistem akuntansi, sedangkan *chargeback* lebih formal karena biaya dibebankan ke anggaran pihak pengguna. (FinOps Foundation)

Catatan praktis: organisasi sebaiknya mulai dari *showback*. Setelah data, tagging, ownership, dan formula biaya matang, barulah masuk ke *chargeback*.

8.1.2 Mengapa Pengguna Perlu Melihat Biaya

Pengguna sering tidak berniat boros. Mereka boros karena tidak melihat konsekuensi biaya. VM yang tampak kecil bisa membawa biaya compute, RAM, storage, backup, network, monitoring, security, support, dan energi.

Contoh perilaku yang berubah setelah biaya ditampilkan:

Sebelum *showback*	Setelah *showback*
Meminta VM besar untuk semua aplikasi	Memilih ukuran VM sesuai kebutuhan
Membiarkan VM non-produksi hidup 24×7	Mematikan VM non-produksi di luar jam kerja
Menyimpan data tanpa lifecycle	Memilah data aktif, arsip, dan data yang bisa dihapus
Snapshot dibiarkan lama	Snapshot diberi expiry
Semua aplikasi minta SLA tinggi	SLA dipilih berdasarkan risiko bisnis
Semua layanan dianggap “standar”	Layanan dibedakan berdasarkan kelas dan biaya

Kalimat tajam: *showback* adalah kaca. *Chargeback* adalah rem. Keduanya diperlukan agar pengguna sadar bahwa setiap resource punya biaya.

8.1.3 Hubungan dengan *Service Catalog*

Chargeback dan *showback* tidak bisa berdiri sendiri. Keduanya harus terhubung dengan *service catalog*. Pengguna harus tahu layanan apa yang tersedia, spesifikasinya, SLA-nya, batas kapasitasnya, dan harga internalnya.

Dalam arsitektur cloud, komponen seperti *catalog*, *order*, *offer*, *metering*, *billing*, dan *chargeback* merupakan bagian dari lapisan layanan dan orkestrasi cloud.

Minimal *service catalog* harus memuat:

- nama layanan;
- spesifikasi;
- SLA;
- batas kapasitas;
- harga internal;
- cara request;
- waktu provisioning;
- pemilik layanan;
- tanggung jawab pengguna;
- tanggung jawab operator;
- metode metering;
- metode billing.

8.2 *Unit Cost Cloud Service*

Unit cost adalah biaya per satuan layanan. Tanpa *unit cost*, Cloud Data Center hanya memiliki angka besar TCO, tetapi tidak bisa menjelaskan biaya per VM, per GB storage, per tenant, atau per SLA.

Unit cost yang harus dihitung:

- **biaya per vCPU/bulan**;
- **biaya per GB RAM/bulan**;
- **biaya per GB storage/bulan**;
- **biaya backup per GB/bulan**;
- **biaya network per Mbps**;
- **biaya VM per bulan**;
- **biaya tenant per bulan**.

Outline buku ini juga menempatkan rumus penting seperti **Cost per VM = total biaya cloud / jumlah VM efektif** sebagai bagian dari lampiran rumus Cloud Data Center.

8.2.1 Prinsip Dasar *Unit Economics*

Unit economics menjawab pertanyaan: **apakah setiap layanan cloud menghasilkan nilai yang sebanding dengan biaya yang dikonsumsi?**

Untuk Cloud Data Center internal, “menghasilkan nilai” tidak selalu berarti laba langsung. Nilai bisa berupa:

- percepatan provisioning;
- efisiensi proyek;
- pengurangan downtime;
- keamanan lebih baik;
- audit lebih siap;
- utilisasi resource lebih tinggi;
- penghematan dari konsolidasi;
- pengurangan pembelian liar;
- pengurangan biaya eksternal;
- peningkatan kualitas layanan bisnis.

Namun semua nilai tersebut harus dibandingkan dengan biaya. Jika tidak, Cloud Data Center akan menjadi pusat biaya yang sulit dikendalikan.

Rumus berpikir:

> **Unit Economics = biaya per unit layanan dibanding nilai, risiko, dan SLA layanan tersebut.**

8.2.2 Data yang Dibutuhkan

Untuk menghitung unit cost, minimal dibutuhkan data berikut:

Data	Contoh
TCO tahunan	CAPEX tahunan teramortisasi + OPEX tahunan
Total vCPU efektif	vCPU yang benar-benar bisa dijual/dialokasikan
Total RAM efektif	GB RAM setelah HA reserve dan overhead platform
Total storage usable	GB/TB usable setelah replication dan reserve
Total backup usable	GB/TB backup setelah retention dan overhead
Total network kapasitas	Mbps/Gbps efektif
Jumlah VM aktif	VM produksi dan non-produksi
Jumlah tenant	Unit/divisi/aplikasi pengguna
Utilisasi rata-rata	CPU, RAM, storage, network
Idle resource	VM idle, storage orphan, snapshot lama
SLA layanan	basic, standard, premium
Biaya energi	total dan per layanan
Biaya support	internal dan vendor
Biaya security	monitoring, audit, response

Catatan kritis: unit cost yang bagus bukan yang terlihat paling presisi, tetapi yang cukup akurat, transparan asumsi, dan konsisten dipakai untuk keputusan.

Data Center Handbook mengingatkan bahwa analisis TCO/ROI harus menyatakan asumsi, inklusi, eksklusi, estimasi nilai, estimasi biaya masa depan, dan potensi variasinya. Precision tidak boleh disamakan dengan accuracy.

8.2.3 Biaya per vCPU/Bulan

Rumus sederhana:

> **Biaya per vCPU-bulan = TCO tahunan compute / total vCPU efektif terjual per tahun**

Contoh dari outline:

- TCO tahunan cloud platform = Rp12.000.000.000.
- Total vCPU efektif terjual = 20.000 vCPU-bulan/tahun.

Maka:

> **Biaya per vCPU-bulan = Rp12.000.000.000 / 20.000 = Rp600.000**

Jika 1 VM memakai 2 vCPU, maka biaya vCPU VM tersebut:

> **2 × Rp600.000 = Rp1.200.000/bulan**

Contoh ini mengikuti materi praktik dalam outline Bab 8.

8.2.4 Biaya per GB RAM/Bulan

Rumus:

> **Biaya per GB RAM-bulan = TCO tahunan RAM/compute / total GB RAM efektif terjual per tahun**

Contoh:

- Porsi TCO untuk RAM = Rp4.800.000.000/tahun.
- Total RAM efektif terjual = 80.000 GB-bulan/tahun.

Maka:

> **Biaya RAM = Rp4.800.000.000 / 80.000 = Rp60.000 per GB-bulan**

Jika 1 VM memakai 4 GB RAM:

> **4 × Rp60.000 = Rp240.000/bulan**

8.2.5 Biaya per GB Storage/Bulan

Rumus:

> **Biaya storage per GB-bulan = TCO tahunan storage / total GB storage efektif terjual per tahun**

Contoh:

- TCO storage tahunan = Rp3.600.000.000.
- Storage efektif terjual = 600.000 GB-bulan/tahun.

Maka:

> **Biaya storage = Rp3.600.000.000 / 600.000 = Rp6.000 per GB-bulan**

Jika VM memakai 100 GB storage:

> **100 × Rp6.000 = Rp600.000/bulan**

8.2.6 Biaya Backup per GB/Bulan

Rumus:

> **Biaya backup per GB-bulan = TCO tahunan backup / total GB backup efektif per tahun**

Contoh:

- TCO backup tahunan = Rp1.800.000.000.
- Backup efektif = 900.000 GB-bulan/tahun.

Maka:

> **Biaya backup = Rp1.800.000.000 / 900.000 = Rp2.000 per GB-bulan**

Jika VM memiliki 100 GB data yang dibackup:

> **100 × Rp2.000 = Rp200.000/bulan**

Biaya backup harus memperhitungkan:

- kapasitas backup;
- retensi;
- deduplication jika ada;
- replikasi;
- enkripsi;
- bandwidth;
- uji restore;
- media penyimpanan;
- operasi backup.

8.2.7 Biaya Network per Mbps

Rumus:

> **Biaya network per Mbps-bulan = TCO tahunan network / total Mbps efektif terjual per tahun**

Contoh:

- TCO network tahunan = Rp2.400.000.000.
- Kapasitas efektif = 120.000 Mbps-bulan/tahun.

Maka:

> **Biaya network = Rp2.400.000.000 / 120.000 = Rp20.000 per Mbps-bulan**

Biaya network harus memasukkan:

- switch;
- router;
- firewall;
- load balancer;
- transceiver;
- kabel;
- link;
- monitoring;
- support;
- listrik;
- port density;
- DCI;
- security inspection.

8.2.8 Biaya VM per Bulan

Rumus sederhana:

> **Biaya VM = biaya vCPU + biaya RAM + biaya storage + biaya backup + biaya network + biaya monitoring + biaya support + margin risiko**

Contoh:

- vCPU: 2 × Rp600.000 = Rp1.200.000.
- RAM: 4 × Rp60.000 = Rp240.000.
- Storage: 100 × Rp6.000 = Rp600.000.
- Backup: 100 × Rp2.000 = Rp200.000.
- Network alokasi dasar = Rp100.000.
- Monitoring dan support = Rp150.000.
- Margin risiko 10% = Rp249.000.

Subtotal sebelum margin:

> **Rp1.200.000 + Rp240.000 + Rp600.000 + Rp200.000 + Rp100.000 + Rp150.000 = Rp2.490.000**

Harga dasar dengan margin risiko:

> **Rp2.490.000 + Rp249.000 = Rp2.739.000/bulan**

Catatan praktis: angka ini hanya contoh. Organisasi harus memakai data TCO, utilisasi, tarif listrik, SLA, dan kebijakan internal masing-masing.

8.2.9 Biaya Tenant per Bulan

Rumus:

Biaya tenant = Σ biaya semua layanan yang dipakai tenant

Contoh tenant A:

Resource	Pemakaian	Unit Cost	Biaya
vCPU	40 vCPU	Rp600.000	Rp24.000.000
RAM	160 GB	Rp60.000	Rp9.600.000
Storage	5.000 GB	Rp6.000	Rp30.000.000
Backup	5.000 GB	Rp2.000	Rp10.000.000
Network	500 Mbps	Rp20.000	Rp10.000.000
Support	paket	Rp5.000.000	Rp5.000.000
Total			**Rp88.600.000/bulan**

Inilah angka yang dapat dipakai untuk *showback* atau *chargeback*.

8.3 *Pricing* Internal dan Eksternal

Pricing adalah cara mengubah unit cost menjadi harga layanan. Untuk Cloud Data Center internal, harga tidak selalu harus mencari margin laba. Namun harga tetap harus mendorong perilaku yang benar: resource sesuai kebutuhan, SLA sesuai risiko, dan kapasitas tidak diboroskan.

Pendekatan harga internal:

- **Cost recovery**.
- **Cost plus margin**.
- **Subsidi strategis**.
- **Tiered pricing**.
- **Reserved capacity**.
- **Pay-as-you-use**.
- **Premium SLA**.

8.3.1 *Cost Recovery*

Cost recovery berarti harga internal dibuat untuk menutup biaya.

Cocok untuk:

- cloud internal pemerintah/perusahaan;
- layanan shared service;
- organisasi yang belum mencari profit;
- tahap awal *chargeback*.

Kelebihan:

- mudah dijelaskan;
- tidak terasa seperti “profit internal”;
- membantu finance memahami beban biaya.

Kelemahan:

- kurang memberi ruang untuk risiko;
- tidak selalu menutup biaya growth;
- bisa terlalu murah jika utilisasi rendah.

8.3.2 *Cost Plus Margin*

Cost plus margin berarti harga = biaya + margin. Margin bukan selalu laba, tetapi bisa menjadi cadangan risiko, growth, refresh, dan inovasi.

Cocok untuk:

- layanan cloud yang akan dijual ke entitas lain;
- shared service yang harus membiayai refresh;
- layanan premium;
- organisasi yang ingin membangun dana pengembangan.

Contoh:

- Unit cost VM = Rp2.500.000/bulan.
- Margin risiko dan refresh = 15%.
- Harga = Rp2.875.000/bulan.

Catatan tajam: margin yang transparan lebih sehat daripada biaya tersembunyi yang muncul saat refresh perangkat.

8.3.3 Subsidi Strategis

Subsidi strategis digunakan jika layanan tertentu sengaja dibuat lebih murah untuk mendorong transformasi.

Contoh:

- layanan analytics internal;
- sandbox inovasi;
- platform training;
- lingkungan riset;
- layanan untuk unit strategis.

Risiko subsidi:

- konsumsi berlebihan;
- layanan dianggap gratis;
- biaya sulit dihentikan;
- unit lain merasa tidak adil.

Karena itu, subsidi harus memiliki:

- batas waktu;
- batas kapasitas;
- sponsor manajemen;
- KPI manfaat;
- review berkala.

8.3.4 *Tiered Pricing*

Tiered pricing membedakan harga berdasarkan kelas layanan.

Contoh:

Tier	Karakter	Harga
Basic	SLA rendah, backup opsional, support jam kerja	paling murah
Standard	SLA normal, backup standar, monitoring aktif	menengah
Premium	SLA tinggi, backup sering, DR, support cepat	paling mahal

Manfaat:

- pengguna memilih sesuai kebutuhan;
- SLA tinggi tidak diberikan gratis;
- biaya redundancy terlihat;
- layanan kritikal dapat diprioritaskan.

8.3.5 *Reserved Capacity*

Reserved capacity berarti pengguna memesan kapasitas untuk periode tertentu. Cocok untuk workload stabil.

Contoh:

- unit A memesan 100 vCPU dan 500 GB RAM untuk 12 bulan;
- harga lebih rendah dibanding pemakaian fleksibel;
- kapasitas dijamin tersedia.

Kelebihan:

- capacity planning lebih mudah;
- pendapatan internal lebih stabil;
- pengguna mendapat harga lebih baik.

Risiko:

- kapasitas tidak terpakai;
- kontrak internal tidak fleksibel;
- perlu kebijakan pelepasan kapasitas.

8.3.6 *Pay-as-You-Use*

Pay-as-you-use berarti pengguna membayar berdasarkan pemakaian aktual.

Cocok untuk:

- environment dev/test;
- workload musiman;
- sandbox;
- platform eksperimen;
- tenant dengan pola tidak stabil.

Kelebihan:

- adil terhadap konsumsi;
- mendorong efisiensi;
- cocok untuk elastisitas cloud.

Kelemahan:

- biaya bulanan kurang stabil;
- butuh metering kuat;
- perlu dashboard real-time.

OpenCost dapat menjadi contoh tool *open source* untuk pengukuran dan alokasi biaya infrastruktur cloud-native secara real-time, termasuk dukungan untuk *showback* dan *chargeback*. (opencost.io)

8.3.7 *Premium SLA*

Premium SLA berarti pengguna membayar lebih untuk layanan dengan availability, response time, backup, DR, monitoring, dan support lebih tinggi.

Contoh:

SLA	Karakter	Dampak Biaya
99,0%	layanan non-kritikal	biaya rendah
99,5%	layanan standar	biaya menengah
99,9%	layanan produksi penting	biaya lebih tinggi
99,99%	layanan kritikal	biaya sangat tinggi

Kalimat tajam: SLA tinggi tidak boleh gratis. SLA tinggi membutuhkan desain, SDM, monitoring, redundancy, backup, DR, dan support yang lebih mahal.

8.4 SLA dan Biaya

Semakin tinggi SLA, semakin mahal layanan. Hal ini sering tidak terlihat oleh pengguna. Mereka meminta “high availability”, tetapi tidak melihat biaya tambahan yang dibutuhkan.

Semakin tinggi SLA, semakin tinggi kebutuhan:

- **redundancy lebih tinggi**;
- **monitoring lebih ketat**;
- **support lebih cepat**;
- **backup lebih sering**;
- **DR lebih kompleks**;
- **tim standby lebih besar**;
- **spare part lebih siap**;
- **network lebih redundan**;
- **security review lebih ketat**;
- **audit evidence lebih lengkap**.

Data Center Handbook menekankan bahwa resource pooling dan measured service dalam cloud perlu didukung metering, usage reporting, dan transparansi konsumsi. Billing memberi motivasi finansial agar pengguna melepas resource kembali ke pool saat tidak diperlukan.

8.4.1 Mengapa SLA Mahal

SLA tinggi membutuhkan kapasitas cadangan. Kapasitas cadangan berarti ada resource yang sengaja tidak dipakai agar tersedia saat gagal.

Contoh biaya SLA tinggi:

Kebutuhan	Dampak Biaya
HA cluster	host cadangan, lisensi/platform, design
Storage replication	storage tambahan, bandwidth, monitoring
Network redundancy	link, switch, port, transceiver tambahan
Backup lebih sering	storage backup, bandwidth, job window
DR	site cadangan, replikasi, uji failover
Standby team	SDM shift, overtime, training
Monitoring 24×7	tool, dashboard, alert, service desk
Spare part	inventory dan kontrak support

Catatan kritis: SLA 99,9% bukan angka marketing. Ia adalah komitmen biaya dan operasi.

8.4.2 Contoh Tier Layanan Berbasis SLA

Tier	SLA	Backup	DR	Support	Cocok Untuk
Basic	99,0%	opsional	tidak	jam kerja	dev/test, aplikasi non-kritikal
Standard	99,5%	harian	restore manual	jam kerja + eskalasi	aplikasi internal
Business	99,9%	harian + retensi	DR terbatas	support cepat	aplikasi produksi
Critical	99,99%	lebih sering	DR diuji	24×7 standby	layanan sangat kritikal

Harga layanan harus mengikuti tier. Jangan memberikan SLA Critical dengan harga Basic.

8.4.3 RTO/RPO dan Biaya

Selain SLA, layanan kritikal perlu RTO dan RPO.

- **RTO**: berapa lama layanan boleh mati.
- **RPO**: berapa banyak data boleh hilang.

Semakin kecil RTO/RPO, semakin mahal.

Target	Kebutuhan	Biaya
RTO 24 jam, RPO 24 jam	backup harian	rendah
RTO 4 jam, RPO 4 jam	backup lebih sering, prosedur restore	sedang
RTO 1 jam, RPO 15 menit	replikasi, automation, standby	tinggi
RTO hampir nol, RPO hampir nol	active-active/DR matang	sangat tinggi

Kalimat tajam: pengguna boleh meminta RTO/RPO ketat, tetapi harus melihat harga dan konsekuensi operasionalnya.

8.5 Model Alokasi Biaya

Tidak semua biaya dapat langsung dibebankan ke layanan tertentu. Ada biaya langsung dan biaya bersama.

8.5.1 Biaya Langsung

Biaya langsung mudah dikaitkan dengan layanan.

Contoh:

- VM tertentu;
- storage volume;
- backup job;
- public IP;
- dedicated firewall policy;
- dedicated link;
- dedicated tenant environment.

8.5.2 Biaya Bersama

Biaya bersama harus dialokasikan dengan metode yang disepakati.

Contoh:

- cooling;
- UPS;
- generator;
- rack;
- monitoring platform;
- service desk;
- security operation;
- management network;
- shared storage;
- shared firewall;
- audit;
- SDM manajemen.

FinOps Foundation menekankan pentingnya alokasi biaya agar biaya langsung dan *shared cost* dapat dibagikan kepada pihak yang bertanggung jawab, sehingga pemilik layanan memahami biaya teknologi yang dikonsumsi. (FinOps Foundation)

8.5.3 Metode Alokasi Biaya Bersama

Metode	Cara	Kelebihan	Risiko
Berdasarkan VM count	biaya dibagi jumlah VM	sederhana	VM kecil dan besar dianggap sama
Berdasarkan vCPU/RAM	biaya dibagi resource compute	lebih adil	butuh data akurat
Berdasarkan storage	biaya dibagi GB	cocok untuk storage-heavy	tidak menangkap compute
Berdasarkan power	biaya dibagi konsumsi energi	dekat dengan biaya nyata	butuh metering power
Berdasarkan tenant	biaya dibagi per unit	mudah dipahami	bisa tidak adil
Berdasarkan activity-based costing	biaya mengikuti aktivitas layanan	paling realistis	lebih kompleks

Data Center Handbook meninjau model *chargeback* data center dan menjelaskan bahwa sebagian kelemahan model muncul karena campuran biaya tetap dan biaya variabel. Biaya seperti konstruksi, staffing, rent, dan property tax cenderung tetap, sedangkan energi IT lebih variabel.

8.6 Tool *Open Source* untuk *Metering* dan Cost Visibility

Tool *open source* dapat membantu mengukur konsumsi resource dan membangun transparansi biaya.

Kebutuhan	Tool *Open Source*	Fungsi
Cloud platform	OpenStack / OpenNebula	Data tenant, quota, VM, volume
Container cost	OpenCost	Alokasi biaya workload cloud-native
Monitoring	Prometheus	Metrik CPU, RAM, disk, network
Dashboard	Grafana	Dashboard cost, utilization, SLA
Storage	Ceph dashboard	Kapasitas, IOPS, latency, pool usage
Inventory/DCIM	NetBox	Rack, perangkat, IP, koneksi, owner
Ticketing	GLPI / Zammad	Request, approval, incident, change
Automation	Ansible	Shutdown VM idle, reporting, audit
IaC	OpenTofu / Terraform	Resource tracking berbasis kode
Log	Loki / OpenSearch	Audit trail dan cost evidence
AI lokal	Ollama	Analisis laporan biaya dan rekomendasi

OpenCost merupakan proyek *open source* vendor-neutral untuk mengukur dan mengalokasikan biaya infrastruktur cloud dan container secara real-time. Dokumentasinya menyebutkan penggunaan untuk *real-time cost monitoring*, *showback*, dan *chargeback*. (opencost.io)

Materi Praktik

Contoh Hitung Biaya VM per Bulan

Misal:

- TCO tahunan cloud platform = Rp12.000.000.000.
- Total vCPU efektif terjual = 20.000 vCPU-bulan/tahun.

Biaya dasar:

Rp12.000.000.000 / 20.000 = Rp600.000 per vCPU-bulan

Jika 1 VM memakai:

- 2 vCPU;
- 4 GB RAM;
- 100 GB storage;
- backup 100 GB;
- network dasar;
- support standar.

Maka harga VM harus memasukkan:

- **biaya vCPU**;
- **biaya RAM**;
- **biaya storage**;
- **biaya backup**;
- **biaya network**;
- **biaya support**;
- **margin risiko**.

Contoh lengkap:

Komponen	Perhitungan	Biaya/Bulan
vCPU	2 × Rp600.000	Rp1.200.000
RAM	4 × Rp60.000	Rp240.000
Storage	100 × Rp6.000	Rp600.000
Backup	100 × Rp2.000	Rp200.000
Network	alokasi dasar	Rp100.000
Monitoring & support	paket standar	Rp150.000
Subtotal		Rp2.490.000
Margin risiko 10%	10% × subtotal	Rp249.000
Total VM/bulan		**Rp2.739.000**

Template *Unit Cost Cloud Service*

Unit Layanan	Total Biaya Tahunan	Kapasitas Efektif Tahunan	Unit Cost
vCPU-bulan			
GB RAM-bulan			
GB storage-bulan			
GB backup-bulan			
Mbps network-bulan			
VM kecil/bulan			
VM sedang/bulan			
Tenant/bulan			

Template *Showback Report*

Tenant / Unit	VM	vCPU	RAM GB	Storage GB	Backup GB	Network Mbps	SLA	Estimasi Biaya/Bulan
Unit A								
Unit B								
Unit C								
Unit D								
Total								

Tambahkan catatan:

- VM idle.
- Storage terbesar.
- Snapshot lama.
- Backup growth.
- SLA premium.
- Rekomendasi penghematan.

Template *Pricing Service Catalog*

Layanan	Spesifikasi	SLA	Harga Internal	Metode Billing	Catatan
VM kecil	2 vCPU, 4 GB RAM, 100 GB storage	99,5%		per VM/bulan	backup opsional
VM sedang	4 vCPU, 8 GB RAM, 200 GB storage	99,5%		per VM/bulan	backup opsional
VM besar	8 vCPU, 16 GB RAM, 500 GB storage	99,9%		per VM/bulan	approval wajib
Storage block	per GB	99,9%		per GB/bulan	tier standar
Backup	per GB	99,9%		per GB/bulan	sesuai retensi
DR basic	per VM	sesuai RTO/RPO		per VM/bulan	uji berkala
Network segment	per segment	99,5%		per segment / bulan	approval security
Security policy	per policy	99,5%		per policy / bulan	review berkala

Langkah Praktis Membangun Showback 90 Hari

Langkah 1 — Tentukan Layanan yang Akan Dihitung

Mulai dari layanan paling umum:

- VM.
- Storage.
- Backup.
- Network.
- DR.
- Security policy.
- Monitoring.

Langkah 2 — Tentukan Owner Resource

Setiap resource harus memiliki:

- owner unit;
- owner aplikasi;
- owner teknis;
- owner biaya;
- masa berlaku;
- SLA;
- tag layanan.

Langkah 3 — Kumpulkan Data Konsumsi

Kumpulkan:

- jumlah VM;
- vCPU;
- RAM;
- storage;
- backup;
- network;
- SLA;
- tenant;
- VM idle;
- snapshot;
- orphaned volume;
- public IP;
- tiket support.

Langkah 4 — Hitung Unit Cost Awal

Gunakan rumus sederhana:

- biaya per vCPU;
- biaya per GB RAM;
- biaya per GB storage;
- biaya per GB backup;
- biaya per VM;
- biaya per tenant.

Langkah 5 — Buat Laporan Showback

Laporan harus menunjukkan:

- konsumsi resource;
- estimasi biaya;
- tren bulanan;
- resource boros;
- potensi penghematan;
- rekomendasi aksi.

Langkah 6 — Diskusi dengan Unit Pengguna

Tanyakan:

- Apakah resource masih dipakai?
- Apakah VM bisa diperkecil?
- Apakah storage bisa diarsipkan?
- Apakah snapshot bisa dihapus?
- Apakah SLA masih sesuai?
- Apakah backup retention terlalu panjang?

Langkah 7 — Siapkan Transisi ke Chargeback

Sebelum *chargeback*, pastikan:

- formula disetujui;
- data cukup akurat;
- owner resource jelas;
- finance setuju;
- manajemen mendukung;
- pengecualian tertulis;
- proses dispute tersedia.

Prompt AI — Menghitung Unit Cost

Anda adalah Cloud Data Center Cost Analyst.

Hitung unit cost layanan cloud berdasarkan data berikut:
- TCO tahunan cloud platform:
- Porsi biaya compute:
- Porsi biaya RAM:
- Porsi biaya storage:
- Porsi biaya backup:
- Porsi biaya network:
- Porsi biaya support:
- Total vCPU efektif per tahun:
- Total GB RAM efektif per tahun:
- Total GB storage efektif per tahun:
- Total GB backup efektif per tahun:
- Total Mbps network efektif per tahun:
- Jumlah VM aktif:
- Jumlah tenant:

Hitung:
1. biaya per vCPU-bulan
2. biaya per GB RAM-bulan
3. biaya per GB storage-bulan
4. biaya backup per GB-bulan
5. biaya network per Mbps-bulan
6. biaya VM kecil: 2 vCPU, 4 GB RAM, 100 GB storage
7. biaya VM sedang: 4 vCPU, 8 GB RAM, 200 GB storage
8. biaya tenant per bulan
9. komponen biaya terbesar
10. rekomendasi optimasi

Prompt AI — Membuat Showback Report

Anda adalah FinOps Analyst untuk Cloud Data Center internal.

Buat laporan showback bulanan berdasarkan data:
- daftar tenant/unit
- jumlah VM per tenant
- total vCPU
- total RAM
- total storage
- total backup
- network usage
- SLA tier
- VM idle
- snapshot lama
- storage orphan
- biaya unit vCPU
- biaya unit RAM
- biaya unit storage
- biaya unit backup
- biaya unit network
- biaya support

Output:
1. tabel biaya per tenant
2. 5 tenant dengan biaya tertinggi
3. resource idle per tenant
4. potensi penghematan
5. rekomendasi rightsizing
6. rekomendasi penghapusan snapshot/storage
7. risiko jika tidak ditindaklanjuti
8. pesan ringkas untuk manajemen

Prompt AI — Mendesain Pricing Internal

Anda adalah konsultan strategi Cloud Data Center.

Buat model pricing internal untuk layanan:
- VM kecil
- VM sedang
- VM besar
- storage block
- object storage
- backup
- DR basic
- DR premium
- network segment
- firewall policy
- monitoring

Gunakan pendekatan:
- cost recovery
- cost plus margin
- tiered pricing
- reserved capacity
- pay-as-you-use
- premium SLA

Untuk setiap layanan, berikan:
1. formula harga
2. data yang dibutuhkan
3. risiko biaya tersembunyi
4. SLA yang sesuai
5. kapan harga perlu direview
6. cara menjelaskan ke user non-teknis

Prompt AI — Analisis SLA dan Biaya

Anda adalah Cloud Service Manager.

Analisis dampak biaya dari SLA berikut:
- Basic: 99,0%
- Standard: 99,5%
- Business: 99,9%
- Critical: 99,99%

Untuk setiap SLA, jelaskan:
1. kebutuhan redundancy
2. kebutuhan monitoring
3. kebutuhan support
4. kebutuhan backup
5. kebutuhan DR
6. kebutuhan standby team
7. risiko operasional
8. komponen biaya tambahan
9. contoh layanan yang cocok
10. rekomendasi harga relatif

Studi Kasus Singkat

Sebuah Cloud Data Center internal memiliki:

- TCO tahunan cloud platform = Rp12 miliar.
- Total vCPU efektif terjual = 20.000 vCPU-bulan/tahun.
- Total RAM efektif terjual = 80.000 GB-bulan/tahun.
- Total storage efektif terjual = 600.000 GB-bulan/tahun.
- Total backup efektif = 900.000 GB-bulan/tahun.
- Total network efektif = 120.000 Mbps-bulan/tahun.
- Jumlah tenant = 12 unit.
- Jumlah VM aktif = 800 VM.
- VM idle = 120 VM.
- Snapshot lama = 30 TB.

Unit cost awal:

Unit	Perhitungan	Unit Cost
vCPU	Rp12.000.000.000 / 20.000	Rp600.000/vCPU-bulan
RAM	Rp4.800.000.000 / 80.000	Rp60.000/GB-bulan
Storage	Rp3.600.000.000 / 600.000	Rp6.000/GB-bulan
Backup	Rp1.800.000.000 / 900.000	Rp2.000/GB-bulan
Network	Rp2.400.000.000 / 120.000	Rp20.000/Mbps-bulan

Temuan:

- 120 VM idle berarti 15% VM tidak produktif.
- Snapshot lama 30 TB menambah biaya storage dan backup.
- Tanpa *showback*, tenant tidak punya insentif membersihkan resource.
- Jika *chargeback* langsung diterapkan, resistensi tinggi.
- Jalan terbaik: mulai dengan *showback* 3 bulan, lalu diskusi dengan tenant terbesar.

Aksi 90 hari:

1. Buat daftar resource per tenant.
2. Hitung biaya estimasi per tenant.
3. Tandai VM idle.
4. Tandai snapshot lama.
5. Diskusikan laporan dengan tenant.
6. Terapkan kebijakan expiry snapshot.
7. Terapkan approval untuk VM besar.
8. Terapkan tier SLA.
9. Buat dashboard biaya.
10. Siapkan kebijakan *chargeback* bertahap.

Ringkasan Bab 8

Chargeback dan *showback* adalah mekanisme penting untuk mengubah Cloud Data Center dari pusat biaya gelap menjadi layanan yang transparan. Tanpa keduanya, pengguna merasa resource gratis, VM dibiarkan hidup, storage membesar, snapshot menumpuk, backup tidak terkendali, biaya listrik naik, dan kapasitas habis tanpa alasan jelas. *Unit cost* membantu menerjemahkan TCO menjadi biaya per vCPU, RAM, storage, backup, network, VM, dan tenant. Pricing internal dapat memakai pendekatan *cost recovery*, *cost plus margin*, subsidi strategis, *tiered pricing*, *reserved capacity*, *pay-as-you-use*, dan *premium SLA*. **Semakin tinggi SLA, semakin tinggi biaya karena dibutuhkan redundancy, monitoring, support, backup, DR, dan tim standby yang lebih kuat. Cloud Data Center yang matang bukan hanya bisa menyediakan resource, tetapi bisa menjelaskan siapa memakai apa, berapa biayanya, untuk apa dipakai, dan apakah nilainya sebanding dengan biayanya.**

Checklist Akhir Bab 8

Checklist	Status
Setiap resource memiliki owner.	
Setiap tenant memiliki laporan konsumsi resource.	
Unit cost vCPU dihitung.	
Unit cost RAM dihitung.	
Unit cost storage dihitung.	
Unit cost backup dihitung.	
Unit cost network dihitung.	
Biaya VM per bulan dihitung.	
Biaya tenant per bulan dihitung.	
Service catalog memiliki harga internal.	
Showback report dibuat bulanan.	
Chargeback disiapkan bertahap.	
VM idle masuk laporan biaya.	
Snapshot lama masuk laporan biaya.	
Storage orphan masuk laporan biaya.	
Backup growth masuk laporan biaya.	
SLA dibedakan berdasarkan tier.	
Harga SLA premium lebih tinggi daripada layanan basic.	
Formula biaya disetujui finance dan manajemen.	
Proses dispute biaya tersedia.	

Bab 9. Operasi Harian, *Monitoring*, *Automation*, dan Audit *Cost Control*

Golden Rule: Biaya Cloud Data Center tidak dikendalikan oleh laporan tahunan, tetapi oleh disiplin operasi harian yang mencatat, mengukur, mengotomasi, dan menindaklanjuti pemborosan.

Bab ini membahas operasi harian yang menjaga biaya Cloud Data Center tetap terkendali. Setelah layanan dibuat, biaya tidak boleh dibiarkan berjalan sendiri. Setiap VM, storage, backup, snapshot, tenant, akses, alarm, perubahan konfigurasi, tiket, dan insiden harus dipantau karena semuanya dapat berubah menjadi biaya.

Dalam outline buku ini, Bab 9 diarahkan untuk membahas **operasi harian, monitoring, automation, dan audit cost control**. Aktivitasnya mencakup monitoring alarm, cek kapasitas, cek VM idle, cek backup, cek storage growth, cek tiket user, cek insiden, cek perubahan konfigurasi, cek security alert, dan cek biaya harian atau mingguan.

Data Center Handbook menekankan bahwa DCIM mengintegrasikan disiplin IT dan facility untuk monitoring, manajemen, capacity planning, workflow, biaya, dan nilai aset. DCIM yang baik tidak hanya menggambar layout data center, tetapi membantu melihat biaya, availability, lifecycle, dan nilai aset selama masa pakainya.

9.1 Operasi Harian Cloud Data Center

Operasi harian adalah disiplin kecil yang mencegah biaya menjadi besar. Banyak pemborosan Cloud Data Center tidak muncul dari satu keputusan besar, tetapi dari rutinitas yang tidak dilakukan:

- VM dibuat, tetapi tidak pernah di review.
- Storage ditambah, tetapi tidak ada owner.
- Snapshot dibuat, tetapi tidak punya tanggal kedaluwarsa.
- Backup berjalan, tetapi gagal tidak ditindaklanjuti.
- Alarm muncul, tetapi dianggap biasa.
- Perubahan konfigurasi dilakukan, tetapi tidak dicatat.
- Tiket user menumpuk, tetapi tidak dianalisis.
- Resource idle tetap hidup selama berbulan-bulan.
- Biaya listrik naik, tetapi tidak dikaitkan dengan workload.

Dalam Buku Pegangan Data Center, operasi harian dijelaskan sebagai rutinitas kecil yang menjaga fasilitas tetap stabil. Insiden besar sering berawal dari hal sederhana: suhu naik tidak dicatat, baterai UPS melemah tidak ditindaklanjuti, alarm dianggap biasa, kabel berubah tanpa catatan, atau kapasitas rak penuh tanpa peringatan.

9.1.1 Aktivitas Harian

Aktivitas harian Cloud Data Center harus mencakup:

- **Monitoring alarm**.
- **Cek kapasitas**.
- **Cek VM idle**.
- **Cek backup**.
- **Cek storage growth**.
- **Cek tiket user**.
- **Cek insiden**.
- **Cek perubahan konfigurasi**.
- **Cek security alert**.
- **Cek biaya harian/mingguan**.

Operasi harian tidak hanya berarti melihat dashboard. Operasi harian harus menghasilkan **catatan, keputusan, eskalasi, dan tindakan koreksi**.

Aktivitas	Tujuan	Bukti Operasi
Cek alarm	Menemukan masalah lebih awal	daftar alarm dan status tindakan
Cek kapasitas	Mencegah resource habis	laporan CPU/RAM/storage/network
Cek VM idle	Mengurangi pemborosan	daftar VM idle dan owner
Cek backup	Memastikan data terlindungi	laporan job sukses/gagal
Cek storage growth	Mencegah storage penuh	tren growth dan proyeksi
Cek tiket user	Mengukur beban layanan	daftar tiket, SLA, backlog
Cek insiden	Mengurangi gangguan berulang	incident log dan RCA
Cek perubahan konfigurasi	Menjaga kontrol	change log
Cek security alert	Menangani risiko keamanan	security event dan eskalasi
Cek biaya	Melihat anomali pengeluaran	laporan cost harian/mingguan

Kalimat tajam: operasi harian yang tidak menghasilkan bukti hanyalah kebiasaan; operasi harian yang menghasilkan data adalah sistem pengendali biaya.

9.1.2 Rutinitas Harian, Mingguan, Bulanan

Operasi biaya harus dibagi menjadi tiga ritme.

Harian

Fokus harian adalah deteksi cepat.

- Cek alarm kritikal.
- Cek status backup terakhir.
- Cek host atau VM dengan utilisasi ekstrem.
- Cek storage pool mendekati penuh.
- Cek security alert penting.
- Cek tiket prioritas tinggi.
- Cek perubahan konfigurasi kemarin.
- Cek biaya harian jika tersedia.

Mingguan

Fokus mingguan adalah tren pendek.

- Review VM idle.
- Review snapshot lama.
- Review storage growth.
- Review backup growth.
- Review tiket berulang.
- Review kapasitas host.
- Review network peak.
- Review tenant dengan pertumbuhan terbesar.
- Review cost anomaly.

Bulanan

Fokus bulanan adalah audit biaya.

- Daftar VM aktif.
- Daftar VM idle.
- Daftar storage terbesar.
- Daftar snapshot lama.
- Daftar tenant terbesar.
- Biaya listrik bulan berjalan.
- Biaya support vendor.
- Biaya lisensi.
- Utilisasi CPU/RAM/storage.
- Rekomendasi penghematan.

9.1.3 Operasi Harian sebagai *Cost Control*

Biaya cloud tidak hanya dikendalikan oleh finance. Tim operasi memegang peran besar karena mereka melihat resource nyata.

Contoh kontrol biaya dari operasi:

Temuan Operasi	Dampak Biaya	Tindakan
VM idle 30 hari	compute, RAM, storage, backup terbuang	konfirmasi owner, shutdown
Snapshot >30 hari	storage dan backup naik	hapus sesuai approval
Storage growth tinggi	CAPEX/OPEX storage naik	review owner dan retention
Backup gagal	risiko restore, audit, SLA	eskalasi dan perbaiki
Host underutilized	energi dan maintenance boros	konsolidasi workload
Tenant growth ekstrem	budget tidak terkendali	showback dan review
Security alert berulang	potensi insiden mahal	patch/hardening
Tiket provisioning manual banyak	biaya SDM naik	otomasi workflow

Prinsip: setiap alarm, tiket, dan laporan utilisasi harus dibaca juga sebagai sinyal biaya.

9.2 *Monitoring* dan DCIM

Monitoring adalah mata operasi. DCIM adalah sistem yang menghubungkan data fasilitas, perangkat, kapasitas, aset, lokasi, power, cooling, dan layanan. Dalam Cloud Data Center, monitoring dan DCIM harus membantu menjawab pertanyaan utama:

- **Apa yang sedang berjalan?**
- **Siapa pemiliknya?**
- **Berapa kapasitasnya?**
- **Berapa utilisasinya?**
- **Berapa biayanya?**
- **Apakah sesuai SLA?**
- **Apakah ada risiko?**
- **Apakah perlu tindakan?**

Data Center Handbook menekankan pentingnya telemetry dan monitoring real-time. Banyak data center memiliki daftar aset, tetapi tidak mengetahui utilisasi aktual perangkat; perangkat lama bisa tetap mengkonsumsi daya walaupun workload sudah berpindah. DCIM membantu mengubah data besar dari perangkat IT, power, cooling, sensor, dan fasilitas menjadi informasi yang berguna untuk operasi, optimasi, planning, dan laporan manajemen.

9.2.1 Monitoring Bukan Hanya Alarm

Monitoring yang matang tidak hanya memberi alarm saat terjadi masalah. Monitoring harus memberi konteks:

- tren kapasitas;
- tren biaya;
- tren energi;
- tren storage;
- tren backup;
- tren tiket;
- tren insiden;
- korelasi antara workload dan biaya;
- korelasi antara suhu dan beban rack;
- korelasi antara VM idle dan kapasitas menganggur.

Prometheus adalah sistem *open source* untuk monitoring dan alerting yang menggunakan model data dimensional, query PromQL, basis data time-series, dan alerting modern. (prometheus.io) Grafana OSS adalah teknologi *open source* untuk query, visualisasi, alerting, dan dashboard atas metrik, log, dan trace dari berbagai sumber data. (Grafana Labs)

9.2.2 Dashboard Minimum Cloud Data Center

Dashboard minimum harus dibagi berdasarkan pemakai.

Dashboard Operasi

Untuk Cloud Ops, Facility, Network, Storage, Security.

Isi minimum:

- alarm kritikal;
- host health;
- VM health;
- CPU/RAM utilization;
- storage pool;
- backup status;
- network throughput;
- latency;
- power;
- cooling;
- suhu rack;
- security alert;
- incident status.

Dashboard Kapasitas

Untuk Capacity Planner dan Data Center Manager.

Isi minimum:

- total CPU core;
- vCPU allocated;
- RAM allocated;
- storage usable;
- storage used;
- backup growth;
- network peak;
- rack utilization;
- power headroom;
- cooling headroom;
- forecast 3–5 tahun.

Dashboard Biaya

Untuk Cost Analyst, Finance Partner, dan Manajemen.

Isi minimum:

- biaya per tenant;
- biaya per layanan;
- top 10 tenant;
- top 10 VM mahal;
- VM idle;
- snapshot lama;
- storage orphan;
- biaya listrik;
- biaya support;
- biaya lisensi;
- potensi penghematan.

Dashboard Audit

Untuk Security, Auditor, dan Manajemen.

Isi minimum:

- owner resource;
- perubahan konfigurasi;
- akses admin;
- backup restore test;
- SLA compliance;
- incident log;
- change log;
- evidence cost control;
- resource yang tidak memiliki owner.

9.2.3 Data yang Harus Dimonitor

Domain	Data Minimum
Facility	power, cooling, suhu, kelembaban, PDU, UPS, generator
Compute	host, CPU, RAM, overcommit, HA reserve
VM	owner, status, vCPU, RAM, storage, uptime, idle score
Storage	usable, used, allocated, latency, IOPS, snapshot
Backup	job status, retention, growth, restore test
Network	throughput, latency, packet loss, port, firewall drop
Security	IAM, privileged access, vulnerability, alert, log
Cost	unit cost, tenant cost, resource waste, support, listrik
Ticket	request, incident, change, SLA, backlog
Audit	evidence, approval, owner, lifecycle, exception

9.2.4 DCIM sebagai *Source of Truth*

DCIM harus menjadi salah satu *source of truth* untuk data center. Namun DCIM tidak boleh berdiri sendiri. Ia harus terhubung dengan monitoring, ticketing, inventory, asset management, dan cost reporting.

Data Center Handbook menjelaskan bahwa DCIM telah berkembang melampaui monitoring sederhana dan menjadi perpanjangan data center ke sistem asset and service management, bahkan financial general ledger. DCIM yang baik dapat mengkuantifikasi biaya move/add/change, memahami biaya dan availability aset, serta mengidentifikasi nilai aset sepanjang umur pakainya.

Tool *open source* yang dapat mendukung fungsi ini:

Kebutuhan	Tool *Open Source*	Fungsi
Monitoring metrik	Prometheus	time-series metric dan alert
Dashboard	Grafana	visualisasi dan reporting
Monitoring perangkat	Zabbix / LibreNMS	network, server, UPS, PDU
Log	Loki / OpenSearch	log operasi dan audit trail
DCIM/IPAM	NetBox	rack, device, IP, koneksi, inventory
Ticketing	GLPI / Zammad	request, incident, change
Automation	Ansible	eksekusi task operasi
IaC	OpenTofu	provisioning terdokumentasi
AI lokal	Ollama	analisis laporan dan rekomendasi

9.3 *Automation* untuk Mengurangi Biaya

Automation mengurangi biaya dengan cara menekan pekerjaan manual, mempercepat provisioning, mengurangi kesalahan manusia, memperkuat konsistensi konfigurasi, dan membuat tindakan koreksi lebih cepat.

Automation digunakan untuk:

- **provisioning VM**;
- **approval workflow**;
- **shutdown VM idle**;
- **resize VM**;
- **auto-ticketing**;
- **backup policy**;
- **patch management**;
- **cost alert**;
- **capacity alert**.

Data Center Virtualization Fundamentals menjelaskan bahwa automation dan standardization adalah langkah modernisasi data center setelah virtualisasi. Automation membantu menjalankan tugas operasional repetitif sebagai workflow, terutama provisioning resource. Untuk mengaktifkan satu server pool, jumlah tugas konfigurasi dapat mencapai ratusan karena melibatkan switch, storage, server fisik, hypervisor, alamat manajemen, firmware, zoning, LUN masking, dan VM manager.

9.3.1 Prinsip Automation

Automation harus mengikuti prinsip berikut:

- **Mulai dari proses yang stabil.**
- **Jangan mengotomasi proses yang masih kacau.**
- **Gunakan template standar.**
- **Gunakan approval untuk resource mahal.**
- **Catat semua tindakan automation.**
- **Sediakan rollback.**
- **Uji di environment non-produksi.**
- **Integrasikan dengan ticketing.**
- **Integrasikan dengan monitoring.**
- **Integrasikan dengan cost alert.**

Ansible menyediakan otomasi *open source* yang dapat mengurangi kompleksitas workflow dan dapat dipakai untuk mengotomasi berbagai tugas, seperti konfigurasi sistem, deployment, dan operasi IT. (docs.ansible.com)

Kalimat tajam: automation tidak boleh hanya mempercepat provisioning; automation juga harus mempercepat penghentian resource yang tidak dipakai.

9.3.2 Automation untuk Provisioning VM

Provisioning VM manual sering menyebabkan:

- ukuran VM tidak standar;
- owner tidak dicatat;
- backup tidak ditentukan;
- security policy lupa;
- monitoring tidak aktif;
- biaya tidak dihitung;
- VM tidak punya masa berlaku.

Workflow provisioning otomatis harus meminta:

- nama aplikasi;
- owner bisnis;
- owner teknis;
- SLA;
- ukuran VM;
- storage;
- network zone;
- backup policy;
- masa berlaku;
- cost center;
- approval;
- tag resource.

Output automation:

- VM dibuat;
- monitoring aktif;
- backup policy terpasang;
- security group/policy sesuai;
- biaya awal dihitung;
- tiket otomatis ditutup;
- CMDB/DCIM diperbarui.

9.3.3 Automation untuk Shutdown VM Idle

VM idle adalah sumber pemborosan klasik. Automation dapat membantu mendeteksi dan menindaklanjuti.

Aturan contoh:

- CPU rata-rata <5% selama 30 hari;
- network traffic rendah;
- disk I/O rendah;
- tidak ada login;
- bukan layanan kritikal;
- tidak ada pengecualian tertulis.

Workflow:

1. Sistem mendeteksi VM idle.
2. Tiket otomatis dibuat.
3. Owner diberi notifikasi.
4. Jika tidak ada keberatan, VM dimatikan sementara.
5. Setelah masa observasi, VM dihapus atau diarsipkan.
6. Penghematan dicatat.
7. Laporan dikirim ke owner dan finance.

Catatan penting: shutdown otomatis harus memiliki approval dan masa observasi. Jangan langsung menghapus resource produksi.

9.3.4 Automation untuk *Resize* VM

Banyak VM terlalu besar karena pengguna meminta kapasitas berlebih. Automation dapat memberi rekomendasi *rightsizing*.

Data yang dibaca:

- CPU average;
- CPU peak;
- RAM used;
- RAM active;
- disk I/O;
- network;
- SLA;
- uptime;
- aplikasi.

Tindakan:

- rekomendasi turunkan vCPU;
- rekomendasi turunkan RAM;
- rekomendasi pindah storage tier;
- rekomendasi ubah SLA;
- hitung penghematan;
- minta approval owner;
- jadwalkan perubahan;
- catat hasil.

9.3.5 Automation untuk Backup Policy

Backup sering tidak terkendali jika setiap layanan memilih retensi sendiri tanpa aturan.

Automation backup harus mengatur:

- backup policy berdasarkan tier;
- retensi otomatis;
- expiry otomatis;
- alert job gagal;
- restore test schedule;
- laporan backup growth;
- integrasi dengan service catalog;
- biaya backup per tenant.

9.3.6 Automation untuk Cost Alert dan Capacity Alert

Cost alert memberi peringatan jika biaya melewati batas. Capacity alert memberi peringatan jika resource mendekati penuh.

Contoh cost alert:

- tenant melewati budget 80%;
- VM besar dibuat tanpa approval;
- storage growth >20% dalam sebulan;
- snapshot >30 hari;
- backup growth di atas baseline;
- biaya energi naik di atas tren.

Contoh capacity alert:

- storage >75%;
- backup storage >75%;
- RAM cluster >70%;
- CPU ready tinggi;
- network peak >70%;
- rack power >70%;
- cooling headroom menipis.

9.4 Audit *Cost Control*

Audit cost control bertujuan membuktikan bahwa biaya Cloud Data Center terkendali, dapat dijelaskan, dan dapat ditagihkan atau dilaporkan. Audit biaya tidak cukup hanya menunjukkan invoice. Audit harus menunjukkan hubungan antara resource, owner, layanan, SLA, dan biaya.

Audit biaya harus membuktikan:

- **siapa memakai resource**;
- **resource dipakai untuk apa**;
- **berapa lama dipakai**;
- **berapa biaya**;
- **apakah sesuai SLA**;
- **apakah ada pemborosan**;
- **apakah biaya bisa ditagihkan**.

FinOps Foundation menjelaskan bahwa alokasi biaya memungkinkan organisasi menerapkan *chargeback* atau *showback*, yaitu unit/departemen/proyek dikenakan atau ditampilkan biaya spesifik dari resource cloud yang mereka konsumsi, sehingga mendorong kesadaran biaya dan tanggung jawab finansial. (FinOps Foundation) Perbedaan utama *showback* dan *chargeback* adalah tingkat formalitas pembebanan biaya ke anggaran akuntansi; *showback* dapat dipakai untuk menampilkan biaya tanpa harus menagih resmi. (FinOps Foundation)

9.4.1 Bukti Audit yang Harus Ada

Bukti	Pertanyaan yang Dijawab
Daftar VM aktif	VM apa saja yang berjalan?
Owner resource	Siapa pemilik bisnis dan teknis?
Tag cost center	Biaya masuk ke unit mana?
Utilisasi resource	Apakah resource dipakai?
Service catalog	Layanan apa yang diberikan?
SLA	Kualitas layanan apa yang dijanjikan?
Unit cost	Bagaimana biaya dihitung?
Showback report	Siapa memakai berapa?
Change log	Siapa mengubah apa dan kapan?
Backup report	Apakah proteksi data berjalan?

Restore test	Apakah backup terbukti bisa dipulihkan?
Security log	Apakah akses dan risiko terkendali?
Exception list	Resource mana yang dikecualikan dan kenapa?
Decommission log	Resource mana yang dihentikan?
Savings report	Berapa penghematan dari tindakan operasi?

9.4.2 Audit Pemborosan

Audit cost control harus mencari pemborosan, bukan hanya memvalidasi biaya.

Objek audit:

- VM idle.
- Orphaned VM.
- Orphaned volume.
- Snapshot lama.
- Backup retention berlebihan.
- Public IP tidak dipakai.
- Firewall policy tidak punya owner.
- Tenant tanpa cost center.
- Resource premium tanpa SLA premium.
- VM besar tanpa approval.
- Storage terbesar tanpa lifecycle.
- Layanan tanpa owner.
- Resource tanpa masa berlaku.

Kalimat tajam: biaya yang tidak punya owner adalah risiko. Resource yang tidak punya tujuan adalah pemborosan.

9.4.3 Audit SLA dan Biaya

Audit harus memeriksa apakah biaya sesuai dengan SLA.

Contoh:

Temuan	Risiko
SLA premium tetapi tidak ada DR	biaya premium tidak sah
DR dibayar tetapi tidak diuji	risiko audit dan layanan
Backup dibayar tetapi restore gagal	biaya tidak menghasilkan proteksi
VM basic memakai resource premium	subsidi tersembunyi
Tenant critical memakai layanan tanpa monitoring	risiko SLA
Support 24×7 dibayar tetapi tidak ada standby	biaya tidak sesuai layanan

9.4.4 Audit Tagging dan Ownership

Tagging adalah fondasi cost control.

Tag minimum:

- nama layanan;
- owner bisnis;
- owner teknis;
- tenant;
- cost center;
- environment;
- SLA;
- backup policy;
- masa berlaku;
- data classification;
- criticality.

Tanpa tagging, laporan biaya akan menjadi perkiraan kasar. Dengan tagging, biaya dapat dikaitkan dengan pengguna dan layanan.

9.5 Integrasi Operasi, Monitoring, Automation, dan Audit

Keempat elemen ini harus bekerja sebagai siklus.

1. **Operasi harian** menemukan masalah.
2. **Monitoring** memberikan data.
3. **Automation** menjalankan tindakan cepat dan konsisten.
4. **Audit** membuktikan hasil dan menemukan gap.
5. Hasil audit kembali memperbaiki operasi harian.

Siklus ini harus berjalan terus-menerus.

Tahap	Output
Operasi	checklist, incident log, tiket
Monitoring	dashboard, alert, tren
Automation	workflow, tindakan, log eksekusi
Audit	bukti, temuan, rekomendasi
Perbaikan	policy baru, training, automation baru

Materi Praktik

Checklist Audit Biaya Bulanan

Item Audit	Ada/Tidak	Catatan
Daftar VM aktif		
Daftar VM idle		
Daftar VM tanpa owner		
Daftar storage terbesar		
Daftar orphaned volume		
Daftar snapshot lama		
Daftar tenant terbesar		
Biaya listrik bulan berjalan		
Biaya support vendor		
Biaya lisensi/platform		
Utilisasi CPU		
Utilisasi RAM		
Utilisasi storage		
Backup growth		
Backup gagal		
Restore test		
Public IP tidak dipakai		
Firewall policy tanpa owner		
Resource tanpa cost center		
Rekomendasi penghematan		

Template Laporan Operasi Harian

Area	Status	Temuan	Tindakan	Owner	Deadline
Alarm					
Kapasitas					
VM idle					
Backup					
Storage growth					
Tiket user					
Insiden					
Change					
Security alert					
Biaya					

Template Dashboard *Cost Control*

Panel Dashboard	Metrik	Frekuensi Review
Top tenant by cost	biaya per tenant	mingguan/bulanan
VM idle	jumlah dan estimasi biaya	mingguan
Storage terbesar	top volume/bucket/share	mingguan
Snapshot lama	ukuran dan owner	mingguan
Backup growth	TB/bulan	mingguan/bulanan
Cost anomaly	kenaikan biaya tidak normal	harian/mingguan
Capacity risk	resource >75%	harian
Energy cost	biaya listrik berjalan	mingguan/bulanan
SLA cost	biaya per tier SLA	bulanan
Savings	penghematan dari aksi	bulanan

Contoh Workflow Automation: VM Idle

Langkah	Aksi
1	Monitoring mendeteksi VM idle 30 hari
2	Sistem membuat tiket otomatis
3	Owner menerima notifikasi
4	Owner memilih: tetap aktif, resize, shutdown, atau delete
5	Jika tidak ada respons, eskalasi ke service owner
6	Jika disetujui, VM dimatikan sementara
7	Setelah masa observasi, VM dihapus atau diarsipkan
8	Biaya yang dihemat dicatat
9	Laporan dikirim ke tenant dan finance

Prompt AI — Audit Biaya Bulanan

Anda adalah auditor Cloud Data Center.

Analisis data audit biaya bulanan berikut:
- daftar VM aktif:
- daftar VM idle:
- daftar VM tanpa owner:
- daftar storage terbesar:
- daftar snapshot lama:
- daftar tenant terbesar:
- biaya listrik bulan berjalan:
- biaya support vendor:
- biaya lisensi/platform:
- utilisasi CPU:
- utilisasi RAM:
- utilisasi storage:
- backup growth:
- backup gagal:
- restore test:
- public IP tidak dipakai:
- firewall policy tanpa owner:

Berikan output:
1. ringkasan eksekutif
2. temuan biaya terbesar
3. temuan pemborosan
4. risiko SLA
5. risiko audit
6. rekomendasi penghematan 30 hari
7. rekomendasi penghematan 90 hari
8. resource yang harus dimatikan atau direview
9. owner yang harus dihubungi
10. tabel prioritas aksi

Prompt AI — Rekomendasi Automation Cost Control

Anda adalah Cloud Automation Engineer.

Buat rekomendasi automation untuk mengurangi biaya Cloud Data Center.

Data kondisi:
- provisioning VM masih manual:
- approval masih melalui email/chat:
- VM idle:
- snapshot lama:
- backup growth:
- storage orphan:
- cost alert belum ada:
- capacity alert belum ada:
- ticketing system:
- monitoring system:
- platform cloud:

Buat output:
1. daftar workflow automation prioritas
2. manfaat biaya
3. risiko yang dikurangi
4. data input yang dibutuhkan
5. tool open source yang bisa digunakan
6. integrasi dengan ticketing
7. integrasi dengan monitoring
8. kontrol approval
9. rollback plan
10. roadmap 90 hari

Prompt AI — Review Dashboard Monitoring

Anda adalah Cloud Operations Manager.

Evaluasi rancangan dashboard monitoring Cloud Data Center berikut:
- panel alarm:
- panel kapasitas:
- panel VM idle:
- panel storage:
- panel backup:
- panel network:
- panel security:
- panel biaya:
- panel tenant:
- panel SLA:

Berikan output:
1. apakah dashboard cukup untuk operasi harian
2. apakah dashboard cukup untuk cost control
3. metrik yang kurang
4. alert yang harus ditambahkan
5. dashboard untuk manajemen
6. dashboard untuk finance
7. dashboard untuk auditor
8. prioritas perbaikan

Studi Kasus Singkat

Sebuah Cloud Data Center internal memiliki kondisi berikut:

- 900 VM aktif.
- 135 VM idle.
- 55 TB snapshot lama.
- 40 TB orphaned volume.
- Backup growth 18 TB/bulan.
- 8 tenant aktif.
- 2 tenant memakai 55% kapasitas.
- Biaya listrik bulan berjalan Rp850 juta.
- Support vendor Rp300 juta/bulan.
- Utilisasi CPU rata-rata cluster hanya 32%.
- Utilisasi storage 78%.
- Belum ada cost alert.
- Belum ada automation shutdown VM idle.

Analisis:

- VM idle 15% menunjukkan pemborosan compute, RAM, storage, backup, monitoring, dan energi.
- Snapshot lama 55 TB dan orphaned volume 40 TB menunjukkan governance storage lemah.
- Backup growth 18 TB/bulan berisiko menaikkan storage backup dan memperpanjang backup window.
- Dua tenant memakai lebih dari separuh kapasitas, sehingga *showback* harus diprioritaskan.
- CPU cluster 32% menunjukkan kemungkinan over provisioning atau workload tidak seimbang.
- Storage 78% sudah masuk zona perhatian.
- Tanpa cost alert, pemborosan baru diketahui terlambat.

Aksi 30 hari:

1. Buat daftar VM idle dan owner.
2. Kirim laporan *showback* ke 8 tenant.
3. Hapus snapshot lama setelah approval.
4. Review orphaned volume.
5. Buat alert storage >80%.
6. Buat cost alert untuk tenant dengan growth >15%.
7. Review backup retention.
8. Prioritaskan tenant terbesar untuk diskusi penghematan.

Aksi 90 hari:

1. Terapkan workflow VM idle.
2. Terapkan expiry snapshot otomatis.
3. Terapkan approval VM besar.

4. Terapkan dashboard biaya per tenant.
5. Integrasikan monitoring dengan ticketing.
6. Terapkan tagging wajib.
7. Hitung penghematan bulanan.
8. Masukkan cost control ke laporan manajemen.

Ringkasan Bab 9

Operasi harian adalah garis depan pengendalian biaya Cloud Data Center. Monitoring alarm, kapasitas, VM idle, backup, storage growth, tiket user, insiden, perubahan konfigurasi, security alert, dan biaya harus menjadi rutinitas. DCIM dan monitoring membantu mengubah data aset, telemetry, sensor, power, cooling, resource, dan layanan menjadi informasi yang dapat digunakan untuk keputusan. Automation mengurangi biaya dengan mempercepat provisioning, approval, shutdown VM idle, resize VM, auto-ticketing, backup policy, patch management, cost alert, dan capacity alert. Audit cost control memastikan bahwa setiap resource memiliki owner, tujuan, durasi, biaya, SLA, dan bukti penggunaan. **Cloud Data Center yang matang tidak menunggu tagihan membengkak; ia mendeteksi pemborosan setiap hari, mengotomasi tindakan yang aman, dan membuktikan penghematan melalui audit bulanan.**

Checklist Akhir Bab 9

Checklist	Status
Monitoring alarm dilakukan harian.	
Kapasitas CPU/RAM/storage/network dicek rutin.	
VM idle masuk laporan mingguan.	
Backup job gagal ditindaklanjuti.	
Storage growth di monitor.	
Snapshot lama masuk laporan biaya.	
Tiket user dianalisis sebagai beban operasi.	
Insiden dicatat dan dibuat RCA.	
Perubahan konfigurasi dicatat.	
Security alert ditindaklanjuti.	
Biaya harian/mingguan direview.	
Dashboard operasi tersedia.	
Dashboard kapasitas tersedia.	
Dashboard biaya tersedia.	
Dashboard audit tersedia.	
Automation provisioning VM dirancang.	
Automation VM idle dirancang.	
Cost alert tersedia.	
Capacity alert tersedia.	
Audit biaya bulanan menghasilkan rekomendasi penghematan.	

Bab 10. Roadmap *Talent* & *Cost* 3–5 Tahun

Golden Rule: Roadmap Cloud Data Center yang sehat harus menjelaskan kapan SDM siap, kapan biaya terkendali, kapan kapasitas aman, kapan layanan matang, dan kapan setiap rupiah investasi dapat dibuktikan manfaatnya.

Bab terakhir ini menyatukan seluruh pembahasan buku: **SDM, biaya, kapasitas, layanan, operasi, efisiensi energi, otomasi, audit, dan roadmap implementasi**. Cloud Data Center tidak boleh dikembangkan hanya berdasarkan belanja perangkat atau proyek tahunan. Ia harus memiliki roadmap 3–5 tahun yang jelas, realistis, terukur, dan dapat diaudit.

Outline buku ini menegaskan bahwa target utama buku adalah membantu profesional merencanakan SDM, organisasi, kompetensi, biaya, TCO, OPEX, CAPEX, *chargeback*, *capacity planning*, dan roadmap investasi untuk Cloud Data Center secara realistis, terukur, dan siap audit.

Data Center Handbook juga menempatkan strategic planning sebagai keseimbangan antara **agility, resilience, scalability, availability, sustainability, CAPEX, TCO, location, operation, capacity planning, asset utilization, DCIM, DR, dan continuous process improvement**.

10.1 Roadmap *Talent*

Roadmap *talent* adalah rencana pengembangan SDM Cloud Data Center dari kondisi awal menuju operasi yang matang. Roadmap ini harus menjawab pertanyaan:

- **Role apa yang wajib ada?**
- **Kompetensi apa yang harus dikuasai?**
- **Siapa pemilik layanan?**
- **Siapa pemilik biaya?**
- **Siapa pemilik security?**
- **Siapa pengambil keputusan saat insiden?**
- **Bagaimana tim dilatih?**
- **Bagaimana kemampuan tim diukur?**

Uptime Institute Global Data Center Survey 2024 menyebut bahwa tantangan staffing belum membaik maupun memburuk dibanding 2023, dan lebih banyak upaya diperlukan untuk memperluas talent pool serta skillset agar sejalan dengan pertumbuhan kapasitas data center. (Uptime Intelligence) Uptime Institute Staffing and Recruitment Survey 2024 juga mencatat 57% responden meningkatkan belanja terkait gaji, sementara hanya 6% yang menurunkannya. (Uptime Institute)

Artinya, roadmap *talent* bukan pelengkap. Ia adalah bagian dari strategi kontinuitas operasi.

10.1.1 Tahun 1 — Stabilize

Tahun pertama adalah fase menstabilkan operasi. Fokusnya bukan langsung menjadi canggih, tetapi memastikan Cloud Data Center **punya tim inti, dokumentasi dasar, monitoring dasar, service catalog awal, dan pelatihan dasar**.

Target utama Tahun 1:

- **Bentuk tim inti.**
- **Dokumentasi operasi.**
- **Monitoring dasar.**
- **Service catalog awal.**
- **Training dasar facility, cloud, security, cost.**
- **Inventaris aset.**
- **Baseline kapasitas.**
- **Baseline biaya.**
- **Daftar layanan aktif.**
- **Daftar owner resource.**

Peran minimum yang harus mulai jelas:

- Data Center Manager.
- Facility Engineer.
- Network Engineer.
- Compute/Virtualization Engineer.
- Storage Engineer.
- Cloud Platform Engineer.
- Security Engineer.
- Backup & DR Engineer.
- Monitoring Engineer.
- Cost Analyst.
- Service Desk.

Catatan strategis: Tahun 1 jangan terlalu ambisius. Banyak organisasi gagal karena langsung mengejar automation, marketplace, atau DR kompleks, padahal owner resource, dokumentasi, dan monitoring dasar belum rapi.

Output Tahun 1

Area	Output Wajib
Organisasi	struktur tim inti
Layanan	service catalog awal
Operasi	SOP dasar dan checklist harian
Kapasitas	baseline CPU, RAM, storage, network, rack, power
Biaya	baseline CAPEX, OPEX, listrik, support, SDM
Security	daftar akses admin dan log dasar
Backup	daftar job backup dan status restore
Monitoring	dashboard dasar
Audit	daftar bukti operasi awal

10.1.2 Tahun 2 — *Standardize*

Tahun kedua adalah fase standarisasi. Setelah operasi dasar stabil, organisasi perlu membuat proses formal agar layanan tidak bergantung pada individu.

Target utama Tahun 2:

- **RACI formal.**
- **SOP operasi.**
- **Capacity planning.**
- **Showback/chargeback awal.**
- **Automation awal.**
- **Sertifikasi internal.**
- **Change management.**
- **Incident management.**
- **Backup restore test berkala.**
- **Skill matrix.**

Dalam outline buku, Tahun 2 diarahkan untuk membangun RACI, SOP, capacity planning, *chargeback/showback*, automation awal, dan sertifikasi internal.

Output Tahun 2

Area	Output Wajib
Organisasi	RACI per aktivitas kritikal
Operasi	SOP, MOP, EOP, change process
Talent	skill matrix dan training plan
Kapasitas	forecasting 3 tahun
Biaya	showback report bulanan
Layanan	SLA awal
Automation	provisioning dasar dan alert otomatis
Audit	laporan cost control bulanan

Kalimat tajam: standarisasi adalah jembatan dari operasi heroik menuju operasi profesional.

10.1.3 Tahun 3 — *Optimize*

Tahun ketiga adalah fase optimasi. Pada tahap ini, data operasi sudah cukup untuk membuat keputusan berbasis bukti. Fokusnya adalah memperbaiki biaya, kapasitas, SLA, dan automation.

Target utama Tahun 3:

- **FinOps matang.**
- **Cost dashboard.**
- **Automation lebih luas.**
- **Predictive capacity.**
- **SLA berbasis data.**
- **Rightsizing VM.**
- **Idle resource reduction.**
- **Unit economics.**
- **Service review berkala.**
- **Cost anomaly alert.**

FinOps Foundation menjelaskan bahwa *chargeback* dan integrasi finance bertujuan mendorong akuntabilitas pengeluaran ke pihak yang menyebabkan biaya tersebut. (FinOps Foundation) Dalam praktik Cloud Data Center internal, prinsip ini berarti tenant, unit, atau pemilik aplikasi harus melihat biaya resource yang mereka konsumsi.

Output Tahun 3

Area	Output Wajib
Biaya	cost dashboard per tenant dan layanan
Kapasitas	predictive capacity dan rightsizing
Operasi	automation untuk VM idle, snapshot expiry, cost alert
Layanan	SLA berbasis data historis
Talent	sertifikasi internal dan automation competency
Security	audit akses dan incident drill
Sustainability	target efisiensi tahunan
Manajemen	laporan manfaat dan penghematan

10.1.4 Tahun 4–5 — *Scale*

Tahun keempat dan kelima adalah fase skala. Pada tahap ini, organisasi dapat memperluas layanan, site, otomasi, dan model operasi. Fokusnya bukan hanya bertambah besar, tetapi bertambah matang.

Target utama Tahun 4–5:

- **Multi-site.**
- **DR matang.**
- **Service marketplace.**
- **Advanced automation.**
- **Continuous improvement.**
- **Hybrid operations.**
- **Lifecycle refresh terencana.**
- **Sustainability roadmap.**
- **Advanced security automation.**
- **Service profitability / value analysis.**

Cloud DCN modern perlu mendukung multi-DC karena kebutuhan skala layanan, reliabilitas, kontinuitas, sinkronisasi data, backup, HA cluster, VM migration, dan akses lintas layanan. Zhang dan Chen menjelaskan bahwa multi-DC membutuhkan interkoneksi layer 2 atau layer 3 sesuai kebutuhan layanan, storage, HA, migrasi VM, dan frontend network.

Output Tahun 4–5

Area	Output Wajib
Site	multi-site design dan operasi
DR	DR drill berkala dan failover readiness
Layanan	service marketplace
Automation	self-service provisioning dengan kontrol
Cost	chargeback matang dan renegosiasi vendor
Security	security orchestration dan policy automation
Sustainability	target PUE, energi, dan lifecycle refresh
Governance	continuous improvement board

Catatan tajam: scale tanpa governance hanya memperbesar masalah. Scale yang sehat memperbesar layanan, tetapi juga memperkuat kontrol.

10.2 Roadmap *Cost*

Roadmap biaya harus berjalan sejajar dengan roadmap talent. Tidak ada gunanya memiliki cloud canggih jika biaya tidak diketahui, tidak dialokasikan, dan tidak dikendalikan.

Tahap pengendalian biaya:

- **inventaris aset**;
- **baseline biaya**;
- **unit cost**;
- **showback**;
- **chargeback**;
- **optimization**;
- **renegosiasi vendor**;
- **lifecycle refresh**;
- **rightsizing**;
- **sustainability target**.

Outline Bab 10 menempatkan roadmap cost sebagai tahapan dari inventaris aset hingga sustainability target.

10.2.1 Tahap 1 — Inventaris Aset

Inventaris adalah dasar cost control. Tanpa inventaris, biaya tidak bisa dikaitkan dengan aset, layanan, atau owner.

Inventaris minimum:

- rack;
- server;
- storage;
- network;
- security appliance;
- UPS;
- PDU;
- cooling;
- software/platform;
- VM;
- storage volume;
- backup job;
- tenant;
- public IP;
- lisensi/support;
- kontrak vendor.

Tool *open source* seperti **NetBox** dapat digunakan sebagai IPAM/DCIM ringan untuk mendokumentasikan rack, perangkat, IP, koneksi, dan relasi aset.

10.2.2 Tahap 2 — Baseline Biaya

Baseline biaya menjawab: **berapa biaya menjalankan Cloud Data Center saat ini?**

Baseline harus mencakup:

- listrik;
- SDM;
- maintenance;
- support;
- lisensi/platform;
- konektivitas;
- backup;
- security operation;
- monitoring;
- audit;
- sewa/asuransi;
- training;
- spare part.

Rumus awal:

> **OPEX Tahunan = listrik + SDM + maintenance + support + konektivitas + backup + security + monitoring + audit + training**

10.2.3 Tahap 3 — Unit Cost

Unit cost menjawab: **berapa biaya per unit layanan?**

Unit cost minimum:

- cost per VM;
- cost per vCPU;
- cost per GB RAM;
- cost per GB storage;
- cost per GB backup;
- cost per Mbps network;
- cost per tenant;
- cost per SLA tier.

FinOps Foundation menekankan bahwa alokasi biaya penting agar biaya langsung dan *shared cost* dapat dibagikan kepada pihak yang bertanggung jawab, sehingga pemilik layanan memahami biaya teknologi yang mereka gunakan. (FinOps Foundation)

10.2.4 Tahap 4 — *Showback*

Showback adalah langkah awal transparansi biaya. Unit pengguna melihat konsumsi dan estimasi biaya, tetapi belum langsung ditagihkan.

Laporan *showback* harus mencakup:

- jumlah VM;
- vCPU;
- RAM;
- storage;
- backup;
- network;
- SLA;
- biaya estimasi;
- VM idle;
- snapshot lama;
- storage orphan;
- rekomendasi penghematan.

Prinsip: *showback* harus dipakai sebagai edukasi dan dialog, bukan sebagai alat menyalahkan.

10.2.5 Tahap 5 — *Chargeback*

Chargeback membebankan biaya ke unit pengguna. Ini hanya layak dilakukan jika data sudah matang.

Syarat *chargeback*:

- owner resource jelas;
- formula biaya disetujui;
- data metering stabil;
- service catalog memiliki harga;
- finance mendukung;
- proses dispute tersedia;
- pengecualian ditulis;
- manajemen mendukung.

FinOps Foundation menegaskan bahwa perbedaan utama *showback* dan *chargeback* adalah formalitas pembebanan biaya ke budget akuntansi; *showback* bisa digunakan pada berbagai granularitas tanpa harus selalu berubah menjadi *chargeback*. (FinOps Foundation)

10.2.6 Tahap 6 — Optimization dan *Rightsizing*

Optimization bertujuan menurunkan pemborosan tanpa menurunkan kualitas layanan.

Aksi optimization:

- rightsizing VM;
- shutdown VM idle;
- hapus orphaned volume;
- hapus snapshot lama;
- review backup retention;
- optimasi storage tier;
- konsolidasi server;
- optimasi cooling;
- renegosiasi support;
- review SLA premium;
- review tenant terbesar.

Metrik yang harus dipantau mencakup CPU utilization, memory utilization, storage utilization, network throughput, VM density, overcommit ratio, orphaned VM, idle VM, snapshot sprawl, dan backup growth.

10.2.7 Tahap 7 — Lifecycle Refresh

Refresh harus direncanakan, bukan dilakukan saat perangkat sudah kritis.

Komponen yang harus masuk refresh:

- server;
- storage;
- network;
- UPS battery;
- cooling;
- security appliance;
- monitoring platform;
- backup platform;
- cabling;
- rack PDU.

Data Center Handbook menjelaskan bahwa kapasitas dan utilisasi sangat penting karena fasilitas sering tidak memenuhi kebutuhan operasional dan kapasitas awal; kapasitas yang tidak digunakan dapat meninggalkan modal menganggur dalam UPS, generator, chiller, dan perangkat kapital lain.

10.2.8 Tahap 8 — *Sustainability Target*

Sustainability harus masuk roadmap cost karena energi dan cooling langsung mempengaruhi OPEX.

Target sustainability:

- PUE baseline;
- target PUE tahunan;
- biaya energi bulanan;
- rack power monitoring;
- cooling optimization;
- airflow improvement;
- server consolidation;
- VM idle reduction;
- storage lifecycle;
- heat reuse jika relevan;
- carbon awareness jika data tersedia.

IEA memperkirakan konsumsi listrik data center global akan lebih dari dua kali lipat hingga sekitar 945 TWh pada 2030, dengan AI sebagai pendorong utama pertumbuhan tersebut. (IEA) Karena itu, roadmap Cloud Data Center harus membaca energi sebagai isu strategis, bukan sekadar tagihan listrik.

10.3 KPI *Talent* dan *Cost*

Roadmap tanpa KPI hanya menjadi daftar niat. KPI membuat manajemen dapat melihat apakah Cloud Data Center bergerak ke arah yang benar.

KPI harus dipisahkan menjadi:

- **KPI talent**;
- **KPI cost**;
- **KPI capacity**;
- **KPI service**;
- **KPI operation**;
- **KPI sustainability**.

10.3.1 KPI *Talent*

KPI talent:

- **coverage shift**;
- **jumlah role kritikal terisi**;
- **training hours**;
- **sertifikasi**;
- **mean time to repair**;
- **incident reduction**;
- **change success rate**.

Tabel KPI talent:

KPI	Makna	Target Awal
Coverage shift	ketersediaan tim untuk operasi	sesuai jam layanan
Role kritikal terisi	tidak ada role kosong	100% role prioritas
Training hours	jam peningkatan kompetensi	minimal per kuartal
Sertifikasi internal	bukti kompetensi	sesuai role
MTTR	kecepatan pemulihan	turun bertahap
Incident reduction	penurunan insiden berulang	turun per kuartal
Change success rate	perubahan berhasil tanpa rollback	naik bertahap
Backup person	tidak bergantung pada satu orang	minimal 2 orang per role kritikal
RACI completeness	aktivitas kritikal punya RACI	100%
Documentation coverage	SOP/runbook tersedia	100% layanan kritikal

Catatan tajam: KPI talent yang paling penting bukan jumlah orang, tetapi apakah risiko *single point of knowledge* sudah turun.

10.3.2 KPI *Cost*

KPI cost:

- **TCO per layanan**;
- **cost per VM**;
- **cost per GB storage**;
- **utilisasi CPU/RAM/storage**;
- **PUE**;
- **biaya energi per bulan**;
- **idle resource reduction**;
- **budget variance**.

Tabel KPI cost:

KPI	Makna	Target Awal
TCO per layanan	total biaya layanan	diketahui dan di review
Cost per VM	biaya VM per bulan	dihitung per tier
Cost per GB storage	biaya storage	dihitung per tier
Utilisasi CPU/RAM	efisiensi compute	sesuai SLA
Utilisasi storage	efisiensi storage	zona aman
PUE	efisiensi infrastruktur	baseline lalu turun bertahap
Biaya energi bulanan	OPEX energi	dipantau trend
VM idle reduction	pengurangan VM tidak produktif	turun per kuartal
Snapshot cleanup	pengurangan snapshot lama	turun per bulan
Budget variance	deviasi realisasi vs anggaran	terkendali

10.3.3 KPI Capacity

KPI	Makna
Forecast 3 tahun tersedia	kapasitas tidak dibeli mendadak
Resource >75% terdeteksi	ada peringatan dini
HA reserve tersedia	layanan tetap aman saat gagal
Backup growth terpantau	risiko storage backup terkendali
Rack power headroom	ruang ekspansi aman
Cooling headroom	thermal risk terkendali
Network peak trend	upgrade link berbasis data
Storage latency	performa storage sehat

10.3.4 KPI Service

KPI	Makna
Service catalog coverage	semua layanan utama terdokumentasi
SLA compliance	kualitas layanan sesuai janji
Provisioning lead time	kecepatan layanan
Request fulfillment rate	kemampuan memenuhi request
Tenant satisfaction	kualitas pengalaman pengguna
Restore success rate	backup terbukti berguna
DR test success	kesiapan pemulihan
Cost per tenant	transparansi konsumsi

10.3.5 KPI Sustainability

KPI	Makna
PUE baseline	titik awal efisiensi
Energy cost/month	biaya energi
IT load trend	pertumbuhan beban IT
Cooling efficiency	efektivitas pendinginan
Rack temperature compliance	risiko thermal
Server idle reduction	pengurangan energi terbuang
Storage lifecycle	pengurangan data tidak perlu
Backup growth control	efisiensi proteksi data
Sustainability target achieved	target efisiensi tercapai

10.4 Roadmap Implementasi 3 Tahun

Roadmap 3 tahun harus ringkas, tajam, dan bisa dijalankan. Roadmap ini dapat menjadi template diskusi antara tim teknis, finance, procurement, dan manajemen.

Template Roadmap 3 Tahun

Area	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3
Talent	Tim inti	Skill matrix	Sertifikasi & automation
Cost	Baseline biaya	Showback	Chargeback
Capacity	Inventaris	Forecasting	Rightsizing
Service	Catalog awal	SLA	Unit economics
Operation	SOP dasar	Monitoring terpadu	Predictive ops
Sustainability	PUE baseline	Optimasi cooling	Target efisiensi

Template ini mengikuti outline Bab 10 yang menutup buku dengan roadmap 3 tahun untuk talent, cost, capacity, service, operation, dan sustainability.

Roadmap Detail Tahun 1 — *Stabilize*

Area	Target	Output
Talent	bentuk tim inti	struktur organisasi dan role
Cost	baseline biaya	laporan CAPEX/OPEX awal
Capacity	inventaris	daftar aset, VM, storage, rack
Service	catalog awal	daftar layanan cloud
Operation	SOP dasar	checklist harian, mingguan, bulanan
Security	akses admin	daftar privileged account
Backup	status job	laporan backup dan restore test
Sustainability	PUE baseline	laporan energi awal

Target akhir Tahun 1: organisasi tahu **apa yang dimiliki, siapa pemiliknya, berapa kapasitasnya, berapa biayanya, dan risiko utamanya**.

Roadmap Detail Tahun 2 — *Standardize*

Area	Target	Output
Talent	skill matrix	peta kompetensi dan training
Cost	showback	laporan biaya per tenant
Capacity	forecasting	kebutuhan 3 tahun
Service	SLA	layanan basic, standard, premium
Operation	monitoring terpadu	dashboard operasi dan kapasitas
Security	audit log	bukti akses dan perubahan
Backup/DR	uji berkala	hasil restore dan DR drill
Automation	workflow awal	provisioning dan alert dasar
Sustainability	optimasi cooling	perbaikan airflow dan suhu rack

Target akhir Tahun 2: organisasi punya **standar operasi, standar layanan, standar biaya, dan standar tanggung jawab**.

Roadmap Detail Tahun 3 — *Optimize*

Area	Target	Output
Talent	sertifikasi & automation	engineer mampu menjalankan workflow otomatis
Cost	chargeback	biaya dapat dialokasikan resmi
Capacity	rightsizing	VM idle dan oversized turun
Service	unit economics	biaya per layanan diketahui
Operation	predictive ops	alert kapasitas dan biaya berbasis tren
Security	continuous review	akses, vulnerability, dan policy direview rutin
Backup/DR	SLA recovery	RTO/RPO diuji
Sustainability	target efisiensi	PUE dan biaya energi membaik

Target akhir Tahun 3: Cloud Data Center berubah dari sekadar platform operasi menjadi **platform layanan yang terukur, terkendali, dan dapat dipertanggungjawabkan**.

10.5 Roadmap Implementasi 5 Tahun

Roadmap 5 tahun diperlukan untuk organisasi yang ingin membangun Cloud Data Center sebagai platform strategis jangka panjang.

Tahun	Tema	Fokus
1	*Stabilize*	tim inti, dokumentasi, baseline, monitoring dasar
2	*Standardize*	RACI, SOP, SLA, showback, forecasting
3	*Optimize*	unit economics, rightsizing, automation, chargeback
4	*Scale*	multi-site, DR matang, service marketplace
5	*Transform*	advanced automation, continuous improvement, sustainability leadership

Tahun 4 — *Scale*

Fokus Tahun 4:

- multi-site operation;
- DR test matang;
- service marketplace;
- automation lintas layanan;
- cost optimization lanjutan;
- renegosiasi vendor;
- lifecycle refresh;
- security orchestration;
- dashboard eksekutif;
- hybrid operation jika dibutuhkan.

OpenStack tetap relevan sebagai platform *open source* untuk private cloud karena diposisikan sebagai perangkat lunak cloud terbuka yang banyak digunakan dan dikembangkan komunitas OpenInfra; situs resmi OpenStack menyebutkan proyek ini menyediakan komponen layanan umum untuk infrastruktur cloud dan mengelola puluhan juta core di berbagai industri. (OpenStack)

Tahun 5 — *Transform*

Fokus Tahun 5:

- continuous improvement formal;
- capacity forecasting berbasis tren;
- predictive maintenance;
- advanced cost governance;
- DR dan BC siap audit;
- sustainability reporting;
- automation lebih luas;
- service value analysis;
- cloud financial governance matang;
- roadmap investasi baru.

Data Center Handbook menyebut digital twin sebagai model virtual 3D data center yang mereplikasi infrastruktur fisik dan IT dari desain awal hingga data operasi harian, serta memungkinkan analitik dari deskriptif menuju prediktif. Dalam konteks roadmap 5 tahun, pendekatan ini dapat menjadi arah jangka panjang untuk data center besar yang membutuhkan prediksi kapasitas, energi, dan risiko lebih matang.

10.6 Tata Kelola Roadmap

Roadmap harus memiliki pemilik. Tanpa pemilik, roadmap hanya menjadi slide.

10.6.1 Governance Board

Bentuk forum bulanan atau triwulanan yang berisi:

- Data Center Manager.
- Cloud Lead.
- Facility Lead.
- Security Lead.
- Cost Analyst.
- Finance Partner.
- Procurement/Vendor Manager.
- Service Owner.
- Capacity Planner.
- Management Sponsor.

Agenda forum:

- review SLA;
- review biaya;
- review kapasitas;
- review insiden;
- review security;
- review roadmap;
- review investasi;
- review penghematan;
- review risiko;
- keputusan prioritas.

10.6.2 Ritme Review Roadmap

Frekuensi	Fokus
Mingguan	operasi, alarm, tiket, VM idle, storage growth
Bulanan	biaya, capacity, SLA, security alert, penghematan
Triwulanan	roadmap, training, vendor, lifecycle, investasi
Tahunan	TCO, refresh, sustainability, DR, audit, strategi 3–5 tahun

Kalimat tajam: roadmap harus hidup dalam ritme review. Roadmap yang tidak direview akan berubah menjadi dokumen arsip.

10.6.3 Prinsip Prioritas

Prioritas roadmap harus mengikuti urutan risiko dan nilai.

Prioritas tinggi:

- risiko downtime;
- risiko security;
- kapasitas hampir habis;
- biaya membengkak;
- role kritikal kosong;
- backup/DR belum terbukti;
- aset tanpa owner;
- resource idle besar;
- energi naik tajam;
- audit evidence lemah.

Prioritas rendah:

- fitur baru yang belum jelas manfaatnya;
- platform baru tanpa owner;
- automation proses yang belum stabil;
- layanan premium tanpa pengguna;
- upgrade yang tidak mengurangi risiko atau biaya.

10.7 Tool *Open Source* untuk Roadmap

Tool *open source* dapat membantu menjalankan roadmap dengan biaya lebih terkendali.

Kebutuhan Roadmap	Tool *Open Source*	Fungsi
Cloud platform	OpenStack / OpenNebula	private cloud dan layanan IaaS
Virtualisasi	KVM	fondasi VM
Storage	Ceph	block, object, file storage
Monitoring	Prometheus	metric dan alert
Dashboard	Grafana	visualisasi operasi, kapasitas, biaya
Log	Loki / OpenSearch	audit trail dan analisis log
DCIM/IPAM	NetBox	aset, rack, IP, koneksi
Ticketing	GLPI / Zammad	request, incident, change
Automation	Ansible	konfigurasi dan operasi otomatis
IaC	OpenTofu	provisioning berbasis kode
Identity	Keycloak	IAM dan akses
Dokumentasi	BookStack / Wiki.js	SOP, runbook, audit evidence
AI lokal	Ollama	analisis laporan, draft rekomendasi, prompt audit

Prinsip: tool harus dipilih berdasarkan roadmap, bukan roadmap disusun mengikuti tool.

Materi Praktik

Template Roadmap 3 Tahun

Area	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3
Talent	Tim inti	Skill matrix	Sertifikasi & automation
Cost	Baseline biaya	Showback	Chargeback
Capacity	Inventaris	Forecasting	Rightsizing
Service	Catalog awal	SLA	Unit economics
Operation	SOP dasar	Monitoring terpadu	Predictive ops
Sustainability	PUE baseline	Optimasi cooling	Target efisiensi

Template Roadmap 5 Tahun

Area	Tahun 1 — Stabilize	Tahun 2 — Standardize	Tahun 3 — Optimize	Tahun 4 — Scale	Tahun 5 — Transform
Talent	tim inti	skill matrix	sertifikasi	multi-site team	continuous learning
Cost	baseline	showback	chargeback	renegosiasi vendor	financial governance
Capacity	inventaris	forecast 3 tahun	rightsizing	multi-site capacity	predictive capacity
Service	catalog awal	SLA	unit economics	marketplace	service value analysis
Operation	SOP dasar	monitoring terpadu	automation	advanced automation	predictive ops
Security	akses admin	audit log	continuous review	orchestration	proactive defense
DR	backup status	restore test	DR drill	multi-site DR	BC/DR audit-ready
Sustainability	PUE baseline	airflow/cooling	target efisiensi	energy roadmap	sustainability reporting

Template KPI Roadmap

Area	KPI	Baseline	Target Tahun 1	Target Tahun 2	Target Tahun 3
Talent	role kritikal terisi				
Talent	training hours				
Talent	backup person per role				
Cost	TCO per layanan				
Cost	cost per VM				
Cost	budget variance				
Capacity	storage utilization				
Capacity	forecast tersedia				
Service	SLA compliance				
Operation	MTTR				
Operation	change success rate				
Sustainability	PUE				
Sustainability	energy cost/month				
Waste	VM idle reduction				
Waste	snapshot cleanup				

Template Resiko Roadmap

Risiko	Dampak	Tahun Target Penanganan	Owner	Aksi
Role kritikal kosong	operasi terganggu	Tahun 1	DC Manager	hiring/training
Tidak ada RACI	konflik tanggung jawab	Tahun 2	Cloud Lead	susun RACI
Biaya tidak transparan	pemborosan	Tahun 2	Cost Analyst	showback
VM idle tinggi	kapasitas boros	Tahun 3	Cloud Ops	automation idle VM
Storage growth tinggi	CAPEX mendadak	Tahun 2–3	Storage Lead	lifecycle policy
Backup belum diuji	restore gagal	Tahun 1–2	DR Lead	restore test
DR belum matang	downtime panjang	Tahun 3–4	DC Manager	DR drill
PUE buruk	OPEX energi tinggi	Tahun 2–3	Facility Lead	optimasi cooling
Audit evidence lemah	compliance risk	Tahun 2	Security Lead	evidence repository
Vendor lock-in	biaya naik	Tahun 4	Procurement	renegosiasi / alternatif

Langkah Praktis Menyusun Roadmap 90 Hari

Langkah 1 — Kumpulkan Baseline

Kumpulkan data:

- daftar layanan;
- daftar aset;
- daftar VM;
- daftar storage;
- kapasitas CPU/RAM/network;
- biaya listrik;
- biaya support;
- biaya SDM;
- biaya maintenance;
- PUE;
- daftar tiket;
- daftar insiden;
- status backup;
- status DR;
- skill matrix awal.

Langkah 2 — Tentukan Masalah Utama

Kelompokkan masalah:

- talent;
- biaya;
- kapasitas;
- layanan;
- operasi;
- security;
- sustainability;
- audit.

Langkah 3 — Tentukan Target 3 Tahun

Target harus spesifik:

- Tahun 1: stabil dan terdokumentasi.
- Tahun 2: standar dan transparan.
- Tahun 3: optimal dan otomatis.

Langkah 4 — Tentukan KPI

Minimal:

- role kritikal terisi;
- TCO per layanan;
- cost per VM;
- utilisasi CPU/RAM/storage;
- VM idle reduction;
- PUE;
- MTTR;
- change success rate;
- budget variance.

Langkah 5 — Susun Prioritas Investasi

Gunakan prinsip:

- resiko tinggi dulu;
- biaya besar dulu;
- pemborosan jelas dulu;
- audit gap dulu;
- layanan kritikal dulu.

Langkah 6 — Presentasikan ke Manajemen

Laporan harus menjawab:

- kondisi saat ini;
- risiko terbesar;
- biaya terbesar;
- gap SDM;
- quick wins;
- investasi yang diperlukan;
- KPI;
- manfaat bisnis;
- risiko jika tidak dilakukan.

Prompt AI — Membuat Roadmap 3 Tahun

Anda adalah konsultan senior Cloud Data Center.

Buat roadmap 3 tahun untuk Cloud Data Center dengan fokus:
- talent
- cost
- capacity
- service
- operation
- security
- sustainability
- audit readiness

Data awal:
- jumlah VM:
- jumlah storage:
- jumlah rack:
- IT load:
- PUE:
- biaya listrik bulanan:
- biaya support:
- jumlah engineer:
- role kritikal yang kosong:
- status service catalog:
- status SLA:
- status showback:
- status chargeback:
- status automation:
- status backup:
- status DR:
- status monitoring:
- status audit evidence:

Berikan output:
1. ringkasan kondisi awal
2. target Tahun 1: Stabilize
3. target Tahun 2: Standardize
4. target Tahun 3: Optimize
5. KPI per tahun
6. quick wins 90 hari
7. investasi prioritas
8. risiko jika roadmap tidak dijalankan
9. owner tiap program
10. format tabel roadmap

Prompt AI — Membuat Roadmap 5 Tahun

Anda adalah Cloud Data Center Strategy Advisor.

Buat roadmap 5 tahun dengan tahap:
- Tahun 1: Stabilize
- Tahun 2: Standardize
- Tahun 3: Optimize
- Tahun 4: Scale
- Tahun 5: Transform

Area yang harus dibahas:
- talent
- cost
- capacity
- service catalog
- SLA
- FinOps
- automation
- monitoring
- security
- backup & DR
- sustainability
- audit readiness

Untuk setiap tahun, berikan:
1. tujuan utama
2. program kerja
3. output wajib
4. KPI
5. risiko utama
6. investasi yang dibutuhkan
7. dependensi antar program
8. keputusan manajemen yang diperlukan

Prompt AI — Review Kelayakan Roadmap

Anda adalah auditor independen Cloud Data Center.

Evaluasi roadmap berikut:
[masukkan roadmap]

Nilai dari aspek:
- apakah realistis
- apakah urutan tahap benar
- apakah talent cukup
- apakah biaya dihitung
- apakah capacity planning jelas
- apakah sustainability masuk
- apakah security dan DR cukup
- apakah KPI terukur
- apakah ada quick wins
- apakah ada risiko tersembunyi

Berikan output:
1. skor kelayakan 1–10
2. temuan kritis
3. hal yang terlalu ambisius
4. hal yang kurang
5. prioritas perbaikan
6. rekomendasi revisi roadmap
7. pertanyaan yang harus dijawab manajemen

Studi Kasus Singkat

Sebuah organisasi memiliki Cloud Data Center internal dengan kondisi:

- 700 VM aktif.
- 100 VM idle.
- Storage usable 500 TB, terpakai 360 TB.
- Backup growth 15 TB/bulan.
- PUE 1,7.
- Biaya listrik Rp900 juta/bulan.
- Belum ada *showback*.
- Belum ada *chargeback*.
- Service catalog masih informal.
- DR belum diuji penuh.
- Tim cloud 8 orang.
- Role cost analyst belum formal.
- Monitoring ada, tetapi belum terhubung dengan dashboard biaya.
- Audit evidence masih tersebar.

Roadmap 3 Tahun

Area	Tahun 1 — Stabilize	Tahun 2 — Standardize	Tahun 3 — Optimize
Talent	bentuk role cost analyst, backup person	skill matrix, RACI formal	sertifikasi internal, automation skill
Cost	baseline TCO dan OPEX	showback per tenant	chargeback bertahap
Capacity	inventaris VM/storage/backup	forecasting 3 tahun	rightsizing dan decommissioning
Service	service catalog awal	SLA basic/standard/premium	unit economics per layanan
Operation	SOP dasar	monitoring terpadu	predictive alert
Security	daftar privileged access	audit log dan review akses	continuous compliance
DR	restore test	DR drill sebagian	DR drill penuh
Sustainability	PUE baseline	airflow/cooling optimization	target PUE dan energy report

Quick Wins 90 Hari

1. Validasi owner 100 VM idle.
2. Hitung biaya listrik per bulan dan proyeksi tahunan.
3. Buat baseline storage dan backup growth.
4. Buat service catalog awal.
5. Tetapkan cost analyst.
6. Buat dashboard VM idle, storage growth, dan biaya energi.
7. Jalankan restore test untuk aplikasi kritikal.
8. Susun RACI untuk provisioning, backup, incident, dan cost report.
9. Buat laporan *showback* simulasi untuk tiga tenant terbesar.
10. Siapkan target PUE dan penghematan energi.

Risiko Jika Tidak Dilakukan

- Storage melewati batas aman dalam 12–18 bulan.
- Backup growth menaikkan OPEX dan memperpanjang backup window.
- VM idle terus memboroskan compute, storage, backup, dan energi.
- Biaya listrik naik tanpa analisis penyebab.
- DR tidak terbukti saat insiden besar.
- Finance tidak bisa menjelaskan biaya cloud.
- Audit evidence sulit dikumpulkan.
- Tim cloud tetap menjadi bottleneck.

Ringkasan Bab 10

Roadmap *talent* dan *cost* 3–5 tahun adalah penutup strategis buku ini. Cloud Data Center yang sehat tidak cukup dibangun dengan perangkat kuat. Ia membutuhkan tim yang siap, biaya yang terukur, kapasitas yang direncanakan, layanan yang jelas, operasi yang disiplin, sustainability yang dihitung, dan audit evidence yang lengkap. Tahun pertama harus fokus pada *stabilize*: tim inti, dokumentasi, monitoring dasar, service catalog awal, baseline biaya, dan baseline kapasitas. Tahun kedua masuk ke *standardize*: RACI, SOP, capacity planning, *showback*, automation awal, dan skill matrix. Tahun ketiga masuk ke *optimize*: FinOps matang, cost dashboard, automation lebih luas, predictive capacity, SLA berbasis data, dan unit economics. Tahun keempat dan kelima masuk ke *scale* dan *transform*: multi-site, DR matang, service marketplace, advanced automation, continuous improvement, dan sustainability roadmap. **Roadmap yang baik bukan yang paling ambisius, tetapi yang paling mampu mengubah data, biaya, SDM, kapasitas, dan risiko menjadi keputusan manajemen yang dapat dipertanggungjawabkan.**

Checklist Akhir Bab 10

Checklist	Status
Roadmap 3 tahun tersedia.	
Roadmap 5 tahun tersedia untuk skala besar.	
Tahun 1 fokus pada stabilize.	
Tahun 2 fokus pada standardize.	
Tahun 3 fokus pada optimize.	
Tahun 4–5 fokus pada scale dan transform.	
Tim inti dan role kritikal dipetakan.	
Skill matrix tersedia.	
Training plan tersedia.	
Baseline biaya tersedia.	
Unit cost dihitung.	
Showback direncanakan.	
Chargeback disiapkan bertahap.	
Capacity forecasting 3–5 tahun tersedia.	
Service catalog tersedia.	
SLA berbasis data disusun.	
Automation roadmap tersedia.	
DR roadmap tersedia.	
Sustainability target ditetapkan.	
KPI talent dan cost disetujui manajemen.	
Roadmap direview bulanan/triwulanan.	

Lampiran A. Rumus Penting Cloud Data Center

Lampiran ini berisi rumus inti untuk menghitung **biaya, kapasitas, utilisasi, energi, dan kelayakan investasi** Cloud Data Center. Rumus ini sebaiknya dipakai bersama data aktual dari monitoring, invoice, inventaris aset, *service catalog*, dan laporan operasi.

NIST menekankan karakteristik *measured service* dalam cloud, yaitu kemampuan sistem untuk mengukur, mengontrol, melaporkan, dan memberi transparansi konsumsi resource kepada penyedia maupun pengguna layanan. Karena itu, rumus di lampiran ini harus dipahami sebagai alat kendali, bukan sekadar hitungan administrasi. (NIST Publikasi Teknik)

Rumus	Formula	Fungsi	Catatan Praktis
TCO	**TCO = CAPEX + OPEX**	Menghitung total biaya kepemilikan	Gunakan untuk analisis 3–5 tahun
OPEX Tahunan	**OPEX Tahunan = listrik + SDM + maintenance + lisensi + konektivitas + support**	Menghitung biaya operasi tahunan	Tambahkan audit, training, backup, security jika ada
Facility Power	**Facility Power = IT Load × PUE**	Menghitung kebutuhan daya total fasilitas	PUE membandingkan total energi fasilitas dengan energi perangkat IT (The Green Grid)
Biaya Energi Tahunan	**Biaya Energi Tahunan = kW × 24 × 365 × tarif listrik**	Menghitung biaya listrik setahun	Gunakan Facility Power, bukan hanya IT Load
Rack Density	**Rack Density = total IT Load / jumlah rack**	Menghitung kepadatan daya per rack	Penting untuk cooling dan power planning
Cost per VM	**Cost per VM = total biaya cloud / jumlah VM efektif**	Menghitung biaya rata-rata VM	Jangan masukkan VM idle sebagai kapasitas produktif
Cost per vCPU	**Cost per vCPU = total biaya compute / total vCPU efektif**	Menghitung biaya compute per vCPU	Pisahkan biaya compute dari storage dan backup
Cost per GB Storage	**Cost per GB Storage = total biaya storage / total GB usable**	Menghitung biaya storage	Gunakan usable capacity, bukan raw capacity

Utilization Rate	**Utilization Rate = resource terpakai / resource tersedia × 100%**	Mengukur tingkat penggunaan resource	Bisa dipakai untuk CPU, RAM, storage, network
Payback Period	**Payback Period = CAPEX / net benefit tahunan**	Menghitung waktu balik modal	Cocok untuk usulan investasi efisiensi
ROI	**ROI = (benefit - cost) / cost × 100%**	Menghitung imbal hasil investasi	Gunakan benefit yang dapat dibuktikan
Budget Variance	**Budget Variance = realisasi biaya - anggaran**	Mengukur selisih biaya aktual dan rencana	Jika positif, biaya melebihi anggaran

Contoh Cepat Perhitungan Energi

Misal:

- IT Load = 500 kW
- PUE = 1,6
- Tarif listrik = Rp1.500/kWh

Maka:

Facility Power = IT Load × PUE
Facility Power = 500 × 1,6
Facility Power = 800 kW

Biaya Energi Tahunan = 800 × 24 × 365 × 1.500
Biaya Energi Tahunan = Rp10.512.000.000/tahun

PUE perlu dibaca sebagai metrik efisiensi infrastruktur, bukan ukuran tunggal kesehatan data center. The Green Grid menjelaskan PUE sebagai total energi data center dibagi energi perangkat IT. (Pusat Keahlian Efisiensi Pusat Data)

Contoh Cepat Perhitungan TCO

Misal:

- CAPEX = Rp20.000.000.000
- OPEX tahunan = Rp5.000.000.000
- Umur analisis = 5 tahun

Maka:

TCO 5 Tahun = CAPEX + (OPEX Tahunan × 5)
TCO 5 Tahun = 20.000.000.000 + (5.000.000.000 × 5)
TCO 5 Tahun = Rp45.000.000.000

Contoh Cepat Unit Cost

Misal:

- Total biaya cloud tahunan = Rp12.000.000.000
- Jumlah VM efektif = 1.000 VM

Maka:

Cost per VM per tahun = 12.000.000.000 / 1.000
Cost per VM per tahun = Rp12.000.000

Cost per VM per bulan = 12.000.000 / 12
Cost per VM per bulan = Rp1.000.000

Catatan penting: unit cost harus disesuaikan dengan SLA, backup, storage, network, support, security, dan margin risiko.

Lampiran B. Template Perencanaan SDM

Template ini digunakan untuk memetakan **jumlah SDM saat ini, kebutuhan ideal, gap, rencana training, hiring, dan risiko operasional**. Fokusnya bukan sekadar menambah orang, tetapi memastikan role kritikal tidak kosong.

Role	Jumlah Saat Ini	Kebutuhan	Gap	Training	Hiring	Risiko
Facility Engineer						
Network Engineer						
Cloud Engineer						
Storage Engineer						
Security Engineer						
Cost Analyst						
Service Desk						

Cara Menggunakan Template

- Isi **Jumlah Saat Ini** berdasarkan personel aktif.
- Isi **Kebutuhan** berdasarkan layanan, SLA, jam operasi, dan risiko.
- Hitung **Gap** = kebutuhan - jumlah saat ini.
- Isi **Training** untuk gap kompetensi yang masih bisa ditutup lewat pelatihan.
- Isi **Hiring** untuk gap yang tidak realistis ditutup dengan training.
- Isi **Risiko** jika role tidak tersedia.

Catatan tajam: Cloud Data Center tidak boleh bergantung pada satu orang untuk fungsi kritikal seperti backup, security, network, storage, dan incident response.

Lampiran C. Template Perencanaan Biaya

Template ini digunakan untuk memisahkan **CAPEX, OPEX bulanan, OPEX tahunan, dan catatan risiko biaya**.

Komponen	CAPEX	OPEX Bulanan	OPEX Tahunan	Catatan
Facility				
Power				
Cooling				
Server				
Storage				
Network				
Software				
SDM				
Maintenance				
Connectivity				
Total				

Komponen yang Jangan Dilupakan

- **Training** untuk role kritikal.
- **Audit** untuk kesiapan compliance.
- **Backup media/storage**.
- **Security operation**.
- **Spare part**.
- **Monitoring tools**.
- **Decommissioning**.
- **Lifecycle refresh**.

Catatan praktis: biaya cloud yang tidak dimasukkan ke template biasanya tetap muncul sebagai biaya mendadak.

Lampiran D. Template Unit Cost Cloud Service

Template ini digunakan untuk menerjemahkan TCO menjadi **harga layanan internal**. FinOps Foundation menjelaskan bahwa alokasi biaya membantu organisasi menerapkan *showback* atau *chargeback* agar departemen/proyek melihat biaya resource cloud yang mereka konsumsi dan terdorong lebih bertanggung jawab secara finansial. (FinOps Foundation)

Layanan	Satuan	Biaya Dasar	Margin	Harga Internal
VM kecil	per bulan			
VM sedang	per bulan			
vCPU	per bulan			
RAM	per GB/bulan			
Storage	per GB/bulan			
Backup	per GB/bulan			
DR	per VM/bulan			

Formula Pendukung

Harga Internal = Biaya Dasar + Margin

Biaya VM = biaya vCPU + biaya RAM + biaya storage + biaya backup + biaya network + biaya support + margin risiko

Catatan Penggunaan

- Gunakan **biaya dasar** dari TCO aktual.
- Margin dapat dipakai untuk **risiko, refresh, growth, dan cadangan kapasitas**.
- Harga internal harus dikaitkan dengan **SLA**.
- Harga layanan premium harus lebih tinggi karena membutuhkan redundancy, monitoring, backup, DR, dan support lebih kuat.
- Mulai dari *showback* sebelum *chargeback* jika data belum matang.

Lampiran E. Checklist Audit *Talent* & *Cost*

Checklist ini dipakai untuk audit bulanan atau triwulanan. Tujuannya memastikan Cloud Data Center memiliki **struktur organisasi, kompetensi, biaya, layanan, dan roadmap** yang terkendali.

Checklist Audit	Status	Catatan
Struktur organisasi tersedia.		
Role kritikal terisi.		
RACI tersedia.		
Skill matrix tersedia.		
Training plan tersedia.		
Service catalog tersedia.		
TCO dihitung.		
OPEX bulanan dipantau.		
Biaya listrik dihitung.		
Unit cost layanan tersedia.		
VM idle terdeteksi.		
Storage growth dipantau.		
Chargeback/showback berjalan.		
Laporan biaya bulanan tersedia.		
Roadmap 3–5 tahun tersedia.		

Interpretasi Hasil

- Jika banyak status kosong, organisasi masih berada pada tahap **Stabilize**.
- Jika service catalog, TCO, unit cost, dan showback sudah berjalan, organisasi masuk tahap **Standardize**.
- Jika rightsizing, chargeback, automation, dan predictive capacity sudah berjalan, organisasi mulai masuk tahap **Optimize**.

Lampiran F. 20 Prompt AI untuk Talent & Cost Cloud Data Center

Gunakan prompt berikut untuk mempercepat analisis, dokumentasi, audit, dan diskusi manajemen. Untuk data sensitif, jalankan AI secara lokal menggunakan tool seperti **Ollama** agar data internal tidak keluar dari organisasi.

1. Struktur Organisasi Minimum

Buatkan struktur organisasi minimum untuk Cloud Data Center skala menengah.

Jelaskan:
- unit kerja yang dibutuhkan
- role kritikal
- tanggung jawab setiap role
- risiko jika role kosong
- rekomendasi prioritas hiring
- rekomendasi training 12 bulan

Gunakan bahasa profesional dan ringkas untuk manajemen.

2. RACI Operasi Cloud Private

Buatkan RACI matrix untuk operasi cloud private.

Aktivitas:
- provisioning VM
- patch hypervisor
- penambahan storage
- perubahan firewall
- backup restore
- incident power
- incident network
- laporan biaya bulanan
- capacity review
- audit akses admin

Gunakan kolom:
Responsible, Accountable, Consulted, Informed, risiko jika RACI tidak jelas.

3. Hitung TCO 5 Tahun

Hitung TCO 5 tahun untuk Cloud Data Center dengan:
- CAPEX Rp20 miliar
- OPEX Rp5 miliar per tahun
- growth OPEX 10% per tahun
- refresh perangkat tahun ke-4 Rp4 miliar
- audit dan training total Rp1 miliar

Tampilkan tabel per tahun, total TCO, komponen biaya terbesar, dan rekomendasi pengendalian biaya.

4. Template Service Catalog

Buatkan template service catalog untuk layanan:
- VM
- storage
- backup
- DR

Untuk setiap layanan, buat:
- deskripsi
- spesifikasi
- SLA
- RTO/RPO
- harga internal
- proses request
- tanggung jawab user
- tanggung jawab operator
- risiko utama

5. Hitung Biaya Energi Tahunan

Hitung biaya energi tahunan jika:
- IT Load 500 kW
- PUE 1,6
- tarif listrik Rp1.500/kWh

Tampilkan:
- Facility Power
- energi tahunan kWh
- biaya energi tahunan
- dampak jika PUE turun menjadi 1,4
- rekomendasi efisiensi energi

6. Model Chargeback

Buatkan model chargeback untuk layanan cloud internal.

Layanan:
- VM kecil
- VM sedang
- storage
- backup
- DR
- network
- security policy

Jelaskan:
- formula biaya
- data yang harus dikumpulkan
- mekanisme billing internal
- proses dispute
- risiko implementasi
- tahap transisi dari showback ke chargeback

7. Template Unit Cost

Buatkan template unit cost per vCPU, RAM, dan storage.

Masukkan kolom:
- jenis resource
- total biaya tahunan
- kapasitas efektif
- unit cost per bulan
- margin risiko
- harga internal
- catatan asumsi

8. Risiko Tim Cloud Terlalu Kecil

Analisis risiko jika tim cloud hanya terdiri dari 3 orang.

Bahas:
- risiko operasional
- risiko security
- risiko backup dan DR
- risiko dokumentasi
- risiko burnout
- risiko audit
- risiko biaya tersembunyi
- rekomendasi mitigasi 90 hari

9. Roadmap Talent 3 Tahun

Buatkan roadmap talent Cloud Data Center selama 3 tahun.

Tahap:
- Tahun 1 Stabilize
- Tahun 2 Standardize
- Tahun 3 Optimize

Untuk setiap tahun, berikan:
- role prioritas
- training
- sertifikasi internal
- output wajib
- KPI
- risiko jika tidak dilakukan

10. Checklist Audit Biaya

Buatkan checklist audit biaya Cloud Data Center.

Harus mencakup:
- VM aktif
- VM idle
- storage terbesar
- snapshot lama
- backup growth
- biaya listrik
- biaya support
- lisensi
- unit cost
- showback
- chargeback
- rekomendasi penghematan

11. KPI Data Center Manager

Buatkan daftar KPI untuk Data Center Manager.

Kelompokkan menjadi:
- availability
- capacity
- cost
- energy
- security
- incident
- change management
- talent
- audit readiness

Berikan definisi, formula, dan target awal.

12. KPI Cost Analyst Cloud

Buatkan daftar KPI untuk Cost Analyst Cloud.

KPI harus mencakup:
- TCO per layanan
- cost per VM
- cost per GB storage
- budget variance
- idle resource reduction
- showback coverage
- chargeback readiness
- savings report
- forecast accuracy

13. Skill Matrix

Buatkan skill matrix untuk:
- facility
- network
- compute
- storage
- security
- cost

Gunakan level:
L = Low
M = Medium
H = High

Role:
- DC Manager
- Facility Engineer
- Network Engineer
- Cloud Engineer
- Storage Engineer
- Security Engineer
- Cost Analyst
- Service Desk

Tambahkan risiko jika kompetensi tidak tersedia.

14. Laporan Bulanan Utilisasi Resource

Buatkan contoh laporan bulanan utilisasi resource cloud.

Masukkan:
- CPU utilization
- RAM utilization
- storage utilization
- network throughput
- VM density
- overcommit ratio
- backup growth
- snapshot growth
- tenant terbesar
- rekomendasi aksi

15. Laporan Pemborosan VM Idle

Buatkan contoh laporan pemborosan VM idle.

Kolom:
- nama VM
- owner
- tenant
- vCPU
- RAM
- storage
- CPU avg 30 hari
- RAM avg 30 hari
- estimasi biaya/bulan
- rekomendasi: keep, resize, shutdown, delete

16. Perhitungan Cost per VM

Buatkan perhitungan cost per VM per bulan.

Data:
- biaya vCPU
- biaya RAM
- biaya storage
- biaya backup
- biaya network
- biaya support
- margin risiko

Tampilkan formula, contoh angka, dan tabel hasil.

17. Analisis CAPEX vs OPEX

Buatkan analisis CAPEX vs OPEX untuk membangun private cloud.

Bandingkan:
- investasi awal
- biaya operasi tahunan
- kontrol keamanan
- kebutuhan SDM
- fleksibilitas
- risiko kapasitas menganggur
- risiko vendor
- dampak ke cashflow
- TCO 5 tahun

18. Checklist Rightsizing VM

Buatkan checklist rightsizing VM.

Cek:
- CPU avg
- CPU peak
- RAM used
- disk I/O
- network traffic
- SLA
- owner
- environment
- backup
- risiko perubahan
- rekomendasi resize
- approval yang dibutuhkan

19. Template Budget Variance

Buatkan template budget variance data center.

Kolom:
- komponen biaya
- anggaran
- realisasi
- variance
- persentase variance
- penyebab
- risiko
- tindakan koreksi
- owner
- deadline

20. Executive Summary Pengajuan Investasi

Buatkan executive summary untuk pengajuan investasi Cloud Data Center.

Harus mencakup:
- masalah bisnis
- risiko jika tidak investasi
- kapasitas saat ini
- kebutuhan 3 tahun
- CAPEX
- OPEX
- TCO
- manfaat bisnis
- dampak ke SLA
- dampak ke security
- dampak ke efisiensi energi
- rekomendasi keputusan manajemen

Tulis dalam 1 paragraf sekitar 300 kata, tajam, strategis, dan mudah dipahami eksekutif.

Glossary

Istilah	Penjelasan
Access Control	Mekanisme untuk mengatur dan mencatat siapa yang boleh mengakses ruang data center, sistem, perangkat, atau platform cloud.
Audit Cost Control	Pemeriksaan untuk memastikan biaya Cloud Data Center dapat ditelusuri ke resource, layanan, tenant, owner, SLA, dan laporan biaya.
Audit Evidence	Bukti audit seperti log, tiket, approval, laporan backup, hasil restore test, changelog, dashboard, dan dokumen operasi.
Automation	Otomasi proses operasi seperti provisioning VM, approval workflow, shutdown VM idle, resize VM, backup policy, cost alert, dan capacity alert.
Backup	Salinan data yang dibuat untuk memulihkan sistem jika terjadi kerusakan, kehilangan data, kesalahan operasi, atau insiden keamanan.
Backup as a Service / BaaS	Layanan backup terstandar dengan jadwal, retensi, monitoring, restore, dan laporan sebagai bagian dari layanan cloud.
Backup Growth	Pertumbuhan kapasitas backup dari waktu ke waktu yang harus dipantau agar storage backup, biaya, dan backup window tidak membengkak.
Backup Restore	Proses mengembalikan data dari backup untuk membuktikan bahwa backup benar-benar dapat digunakan saat dibutuhkan.
Baseline Biaya	Titik awal perhitungan biaya Cloud Data Center, mencakup listrik, SDM, maintenance, support, konektivitas, backup, security, monitoring, dan audit.
Budget Variance	Selisih antara realisasi biaya dan anggaran yang direncanakan. Rumus: **Budget Variance = realisasi biaya - anggaran**.
CAPEX	*Capital Expenditure*, yaitu biaya investasi awal seperti ruang data center, rack, UPS, generator, cooling, server, storage, network, security, implementasi, dan commissioning.
Capacity Alert	Peringatan otomatis ketika kapasitas CPU, RAM, storage, backup, network, rack power, atau cooling mendekati ambang risiko.

Capacity Planning	Proses merencanakan kebutuhan kapasitas rack, power, cooling, CPU, RAM, storage, IOPS, network, backup, DR, lisensi, dan SDM untuk 3–5 tahun.
Chargeback	Mekanisme pembebanan biaya cloud secara resmi kepada unit, tenant, atau pengguna berdasarkan resource yang mereka konsumsi.
Cloud Data Center	Data center berbasis layanan yang menggabungkan resource pool, virtualisasi, automation, monitoring, service catalog, metering, cost control, dan governance.
Cloud Engineer	Engineer yang mengelola platform cloud, provisioning layanan, quota, integrasi compute-storage-network, monitoring, dan automation.
Cloud Operations / Cloud Ops	Fungsi operasi harian cloud yang menangani provisioning, monitoring, incident, capacity review, cost control, service catalog, dan dukungan pengguna.
Commissioning	Proses pengujian akhir untuk memastikan facility, power, cooling, network, server, storage, backup, monitoring, dan DR berjalan sesuai desain.
Compute	Kapasitas komputasi seperti server, CPU, core, RAM, hypervisor, cluster, dan VM yang menjalankan workload cloud.
Cost Alert	Peringatan ketika biaya tenant, VM, storage, backup, energi, atau resource tertentu meningkat melebihi baseline atau budget.
Cost Analyst	Peran yang menghitung TCO, OPEX, CAPEX, unit cost, showback, chargeback, budget variance, dan peluang penghematan.
Cost per GB Storage	Biaya rata-rata per GB storage. Rumus: **total biaya storage / total GB usable**.
Cost per vCPU	Biaya rata-rata per vCPU. Rumus: **total biaya compute / total vCPU efektif**.
Cost per VM	Biaya rata-rata per VM. Rumus: **total biaya cloud / jumlah VM efektif**.
Cost Recovery	Pendekatan harga internal yang bertujuan menutup biaya layanan tanpa margin besar.
Cooling	Sistem pendinginan data center yang menjaga suhu perangkat tetap aman, stabil, dan efisien.

Data Center Manager	Peran manajerial yang bertanggung jawab atas operasi data center, SLA, risiko, biaya, kapasitas, vendor, dan laporan manajemen.
Database as a Service / DBaaS	Layanan database siap pakai dengan kapasitas, performa, backup, akses, monitoring, dan SLA tertentu.
DCIM	*Data Center Infrastructure Management*, sistem untuk mengelola aset, rack, power, cooling, kapasitas, monitoring, workflow, dan data operasional data center.
Decommissioning	Proses penghentian layanan atau perangkat secara aman, termasuk backup final, migrasi, penghapusan data, update inventory, dan disposal.
Disaster Recovery / DR	Strategi pemulihan layanan saat terjadi gangguan besar, mencakup RTO, RPO, replikasi, failover, failback, prosedur, dan uji berkala.
Disaster Recovery as a Service / DRaaS	Layanan pemulihan bencana sebagai layanan cloud untuk VM, aplikasi, database, atau layanan kritikal.
Facility Capacity	Kapasitas fasilitas fisik seperti ruang, rack, power, cooling, PDU, UPS, generator, sensor, dan akses fisik.
Facility Engineer	Engineer yang mengelola fasilitas fisik data center seperti rack, power chain, cooling, sensor, access control, dan fire suppression.
Facility Power	Daya total fasilitas data center. Rumus: **Facility Power = IT Load × PUE**.
FinOps	Disiplin pengelolaan biaya cloud yang menghubungkan engineering, finance, procurement, dan manajemen agar biaya resource transparan dan terkendali.
Fire Suppression	Sistem proteksi kebakaran di data center yang dirancang untuk melindungi fasilitas, perangkat, dan kontinuitas layanan.
Forecasting Kapasitas	Proyeksi kebutuhan kapasitas 3–5 tahun berdasarkan pertumbuhan user, VM, storage, backup, DR, listrik, hardware refresh, dan SDM.
Golden Image	Template sistem operasi atau image standar yang sudah dikonfigurasi, diperbarui, dan di-hardening untuk provisioning VM yang konsisten.
Governance Board	Forum tata kelola yang mereview SLA, biaya, kapasitas, risiko, security, roadmap, vendor, investasi, dan penghematan Cloud Data Center.

HA Cluster	*High Availability Cluster*, kumpulan host atau node yang dirancang agar layanan tetap berjalan saat salah satu komponen gagal.
Hybrid Cloud Operations	Operasi lintas private cloud, colocation, edge site, dan layanan eksternal dengan monitoring, cost visibility, security, backup, DR, dan governance terpadu.
IAM	*Identity and Access Management*, mekanisme pengelolaan identitas, hak akses, role, credential, dan lifecycle user.
IaaS	*Infrastructure as a Service*, layanan cloud yang menyediakan VM, compute, storage, network, IP, firewall policy, dan monitoring dasar.
Idle VM	VM yang tetap hidup tetapi hampir tidak digunakan, biasanya terlihat dari CPU, RAM, network, dan disk I/O yang sangat rendah.
Incident Manager	Peran yang mengkoordinasikan penanganan insiden, eskalasi, komunikasi, RCA, dan pemulihan layanan.
Infrastructure as Code / IaC	Pendekatan provisioning dan pengelolaan infrastruktur menggunakan kode agar konfigurasi terdokumentasi, konsisten, dan dapat diulang.
IT Load	Beban daya perangkat IT seperti server, storage, network, dan security appliance.
KPI Cost	Indikator biaya seperti TCO per layanan, cost per VM, cost per GB storage, PUE, biaya energi bulanan, idle resource reduction, dan budget variance.
KPI Talent	Indikator SDM seperti coverage shift, role kritikal terisi, training hours, sertifikasi, MTTR, incident reduction, dan change success rate.
Lifecycle Cost	Biaya sepanjang umur komponen atau layanan, termasuk pembelian, operasi, maintenance, refresh, audit, dan decommissioning.
Managed Private Cloud	Private cloud yang dioperasikan secara terkelola oleh tim internal, pihak ketiga, atau kombinasi keduanya.
Metering	Pengukuran konsumsi resource seperti vCPU, RAM, storage, backup, bandwidth, energi, dan jam layanan.
Monitoring	Proses memantau kondisi fasilitas, perangkat, VM, storage, network, security, backup, kapasitas, biaya, dan SLA.

MTTR	*Mean Time to Repair*, rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki gangguan dan memulihkan layanan.
NaaS	*Network as a Service*, layanan jaringan seperti network segment, IP pool, routing policy, firewall policy, load balancing, VPN, dan monitoring.
Network Engineer	Engineer yang mengelola IP addressing, VLAN/VXLAN, routing, firewall, load balancer, DCI, SDN, monitoring, dan segmentasi.
Network Segmentation	Pemisahan jaringan berdasarkan zona, tenant, environment, aplikasi, security level, atau fungsi seperti management, storage, backup, dan produksi.
OPEX	*Operational Expenditure*, biaya operasional berulang seperti listrik, SDM, maintenance, support, lisensi, konektivitas, audit, training, monitoring, dan security operation.
Orphaned VM	VM yang tidak memiliki owner jelas, tidak terkait aplikasi aktif, atau tidak masuk laporan layanan resmi.
Orphaned Volume	Volume storage yang tidak terhubung ke VM aktif atau tidak memiliki owner yang jelas.
Overcommit Ratio	Rasio alokasi resource virtual terhadap resource fisik, misalnya total vCPU dialokasikan dibanding physical core tersedia.
PaaS	*Platform as a Service*, layanan platform siap pakai seperti runtime aplikasi, container platform, database platform, API gateway, dan observability platform.
Pay-as-You-Use	Model harga berdasarkan pemakaian aktual resource, cocok untuk workload dinamis, sandbox, atau layanan elastis.
Payback Period	Waktu balik modal. Rumus: **Payback Period = CAPEX / net benefit tahunan**.
PDU	*Power Distribution Unit*, perangkat distribusi daya ke rack atau perangkat IT.
Power Chain	Jalur daya dari sumber listrik, panel, UPS, generator, PDU, rack PDU, sampai perangkat IT.
Pricing Internal	Penentuan harga layanan cloud internal berdasarkan cost recovery, margin, tier layanan, reserved capacity, pay-as-you-use, atau premium SLA.
Privileged Access	Akses tingkat tinggi seperti akun admin, root, platform admin, network admin, atau security admin yang harus dikontrol dan diaudit ketat.

PUE	*Power Usage Effectiveness*, metrik efisiensi energi data center. Rumus: **PUE = total energi fasilitas / energi perangkat IT**.
RACI	Matriks tanggung jawab yang memetakan **Responsible, Accountable, Consulted, Informed** agar tidak terjadi konflik peran.
Rack Density	Kepadatan daya per rack. Rumus: **Rack Density = total IT Load / jumlah rack**.
Resource Pool	Kumpulan resource compute, storage, network, atau security yang dapat dialokasikan sebagai layanan cloud.
Resource Utilization	Tingkat penggunaan resource seperti CPU, RAM, storage, network, backup, power, dan cooling.
Retention	Kebijakan lama penyimpanan data, backup, snapshot, atau log sebelum dihapus atau diarsipkan.
Rightsizing	Penyesuaian ukuran VM, storage, backup, atau resource lain agar sesuai kebutuhan aktual dan tidak boros.
Roadmap Talent & Cost	Rencana 3–5 tahun untuk menyelaraskan pengembangan SDM, biaya, kapasitas, layanan, operasi, security, sustainability, dan audit readiness.
ROI	*Return on Investment*. Rumus: **ROI = (benefit - cost) / cost × 100%**.
RPO	*Recovery Point Objective*, batas maksimum kehilangan data yang dapat diterima saat terjadi gangguan.
RTO	*Recovery Time Objective*, batas maksimum waktu pemulihan layanan setelah gangguan.
SECaaS	*Security as a Service*, layanan keamanan seperti IAM, firewall policy, microsegmentation, vulnerability scanning, logging, compliance, dan incident response.
Security Engineer	Engineer yang mengelola hardening, IAM, privileged access, logging, vulnerability management, segmentasi, audit, dan incident response.
Service Catalog	Daftar resmi layanan Cloud Data Center yang menjelaskan jenis layanan, spesifikasi, SLA, batas kapasitas, harga internal, proses request, dan tanggung jawab.
Service Desk	Fungsi layanan pengguna yang menangani tiket, request, eskalasi awal, komunikasi status, dan koordinasi dengan tim teknis.

Service Owner	Pemilik layanan yang bertanggung jawab atas SLA, kualitas, biaya, risiko, roadmap, dan evaluasi layanan.
Showback	Mekanisme pelaporan biaya kepada unit atau tenant tanpa langsung menagihkan biaya secara resmi.
Skill Matrix	Matriks pemetaan kompetensi per orang atau role, misalnya facility, network, compute, storage, security, cost, automation, dan monitoring.
SLA	*Service Level Agreement*, komitmen kualitas layanan seperti availability, response time, backup, support, RTO, dan RPO.
Snapshot	Salinan kondisi data atau VM pada titik waktu tertentu, biasanya untuk rollback cepat, tetapi bukan pengganti backup.
Snapshot Sprawl	Kondisi ketika snapshot menumpuk, tidak punya expiry, memakan storage, menurunkan performa, dan menaikkan biaya.
STaaS	*Storage as a Service*, layanan storage berbasis block, file, atau object dengan kapasitas, performa, retensi, enkripsi, dan replikasi tertentu.
Storage Engineer	Engineer yang mengelola block storage, file storage, object storage, snapshot, backup, replication, performa, kapasitas, dan retention.
Storage Growth	Pertumbuhan penggunaan storage dari waktu ke waktu yang harus dipantau untuk mencegah kapasitas habis dan biaya membengkak.
Sustainability Target	Target efisiensi dan keberlanjutan seperti PUE baseline, biaya energi, optimasi cooling, pengurangan VM idle, dan lifecycle refresh.
TCO	*Total Cost of Ownership*, total biaya kepemilikan selama umur layanan. Rumus dasar: **TCO = CAPEX + OPEX**.
Telemetry	Pengumpulan data real-time atau hampir real-time dari perangkat, sistem, sensor, dan platform untuk monitoring dan analisis operasi.
Tenant	Unit, divisi, aplikasi, atau pelanggan internal/eksternal yang menggunakan layanan Cloud Data Center.
Tiered Pricing	Model harga bertingkat berdasarkan kelas layanan, misalnya Basic, Standard, Business, dan Critical.
Unit Cost	Biaya per satuan layanan seperti per VM, per vCPU, per GB RAM, per GB storage, per GB backup, atau per tenant.

Unit Economics	Analisis hubungan antara biaya per unit layanan dengan nilai, SLA, risiko, dan manfaat bisnis yang dihasilkan.
Utilization Rate	Persentase pemakaian resource. Rumus: **resource terpakai / resource tersedia × 100%**.
Vendor Manager	Peran yang mengelola kontrak, support, SLA vendor, maintenance, renewal, risiko vendor, dan renegosiasi biaya.
Virtualization Engineer	Engineer yang mengelola hypervisor, cluster, HA, VM template, image management, patching, dan resource overcommit.
VM	*Virtual Machine*, mesin virtual yang berjalan di atas hypervisor dan menggunakan resource CPU, RAM, storage, network, backup, dan monitoring.
VM Density	Jumlah VM per host fisik atau per cluster, digunakan untuk membaca efisiensi dan risiko konsolidasi.
VM Idle Reduction	Program pengurangan VM tidak produktif melalui deteksi, konfirmasi owner, shutdown, resize, atau decommissioning.
VM Sprawl	Pertumbuhan VM tanpa kontrol, owner, masa berlaku, metering, atau kebijakan decommissioning.
WUE	*Water Usage Effectiveness*, metrik efisiensi penggunaan air pada data center.
Zero Trust	Prinsip keamanan yang tidak langsung mempercayai traffic internal; setiap akses harus diautentikasi, diotorisasi, dibatasi, dicatat, dan dipantau.

Referensi

Aitsaadi, N. (Ed.). (2021). *Management of data center networks*. IEEE Press; John Wiley & Sons. https://www.wiley.com/

Ansible Documentation. (n.d.). *Ansible documentation*. Retrieved May 16, 2026, from https://docs.ansible.com/

ASHRAE. (n.d.). *ASHRAE: Shaping tomorrow's built environment today*. Retrieved May 16, 2026, from https://www.ashrae.org/

Avramov, L., & Portolani, M. (2015). *The policy driven data center with ACI: Architecture, concepts, and methodology*. Cisco Press. https://www.ciscopress.com/

Brochard, L., Kamath, V., Corbalán, J., Holland, S., Mittelbach, W., & Ott, M. (2019). *Energy-efficient computing and data centers*. ISTE Ltd; John Wiley & Sons. https://www.iste.co.uk/ ; https://www.wiley.com/

Ceph. (n.d.). *Ceph: The future of storage*. Retrieved May 16, 2026, from https://ceph.io/

Donnellan, D., Lawrence, A., Bizo, D., & Judge, P. (2024). *Uptime Institute global data center survey 2024*. Uptime Institute. https://uptimeinstitute.com/resources/research-and-reports/uptime-institute-global-data-center-survey-results-2024

FinOps Foundation. (n.d.). *Allocation*. Retrieved May 16, 2026, from https://www.finops.org/framework/capabilities/allocation/

FinOps Foundation. (n.d.). *Chargeback and finance integration*. Retrieved May 16, 2026, from https://www.finops.org/framework/previous-capabilities/chargeback/

FinOps Foundation. (n.d.). *Invoicing and chargeback*. Retrieved May 16, 2026, from https://www.finops.org/framework/capabilities/invoicing-chargeback/

Geng, H. (Ed.). (2021). *Data center handbook: Plan, design, build, and operations of a smart data center* (2nd ed.). Wiley. https://www.wiley.com/

Grafana Labs. (n.d.). *Grafana OSS*. Retrieved May 16, 2026, from https://grafana.com/oss/

International Energy Agency. (2025). *Energy and AI*. IEA. https://www.iea.org/reports/energy-and-ai

International Energy Agency. (2025). *Key questions on energy and AI: Executive summary*. IEA. https://www.iea.org/reports/key-questions-on-energy-and-ai/executive-summary

International Organization for Standardization. (2021). *ISO/IEC 22237-1:2021: Information technology—Data centre facilities and infrastructures—Part 1: General concepts*. ISO. https://www.iso.org/standard/78550.html

Lammle, T., & Swartz, J. (2013). *CCNA data center: Introducing Cisco data center networking study guide*. Sybex; John Wiley & Sons. https://www.wiley.com/

Lin, J., & Aitkenhead, G. (2023). *Data centers of the future: Reaching sustainability*. O'Reilly Media. https://www.oreilly.com/

Mell, P., & Grance, T. (2011). *The NIST definition of cloud computing* (NIST Special Publication 800-145). National Institute of Standards and Technology. https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-145.pdf

National Institute of Standards and Technology. (2024). *The NIST cybersecurity framework (CSF) 2.0*. NIST. https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/CSWP/NIST.CSWP.29.pdf

Odom, W., & Hintz, C. (2015). *CCNA data center DCICN 640-911 official cert guide*. Cisco Press. https://www.ciscopress.com/

Open Compute Project. (n.d.). *Data center facility*. Retrieved May 16, 2026, from https://www.opencompute.org/community/data-center-facility

OpenCost. (n.d.). *OpenCost: Open source cost monitoring for cloud native environments*. Retrieved May 16, 2026, from https://www.opencost.io/

OpenInfra Foundation. (n.d.). *OpenStack: Open source cloud computing infrastructure*. Retrieved May 16, 2026, from https://www.openstack.org/

Prometheus Authors. (n.d.). *Prometheus: Monitoring system and time series database*. Retrieved May 16, 2026, from https://prometheus.io/

Purbo, O. W. (2026). *Buku pegangan data center*. Institut Teknologi Tangerang Selatan.

Purbo, O. W. (2026). *Data Center: Talent dan Cost*. Institut Teknologi Tangerang Selatan.

Santana, G. A. A. (2014). *Data center virtualization fundamentals: Understanding techniques and designs for highly efficient data centers*. Cisco Press. https://www.ciscopress.com/

The Green Grid. (2012). *PUE: A comprehensive examination of the metric*. The Green Grid. https://datacenters.lbl.gov/sites/default/files/WP49-PUE%20A%20Comprehensive%20Examination%20of%20the%20Metric_v6.pdf

The Green Grid. (2011). *Water usage effectiveness (WUE): A Green Grid data center sustainability metric*. The Green Grid. https://www.thegreengrid.org/system/files/store/WUE_v1.pdf

U.S. Department of Energy. (2024). *Best practices guide for energy-efficient data center design*. Federal Energy Management Program. https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-07/best-practice-guide-data-center-design.pdf

Uptime Institute. (n.d.). *Tier classification system*. Retrieved May 16, 2026, from https://uptimeinstitute.com/tiers

Uptime Institute. (n.d.). *Tier certification*. Retrieved May 16, 2026, from https://uptimeinstitute.com/tier-certification

Uptime Institute. (n.d.). *Tier certification of operational sustainability*. Retrieved May 16, 2026, from https://uptimeinstitute.com/tier-certification/operations

Uptime Institute. (2024). *Data center staffing and recruitment survey 2024*. Uptime Institute. https://datacenter.uptimeinstitute.com/rs/711-RIA-145/images/2024.StaffingSurvey.3Pager.Final.pdf

Uptime Institute. (2024). *Global data center survey 2024*. Uptime Institute. https://datacenter.uptimeinstitute.com/rs/711-RIA-145/images/2024.GlobalDataCenterSurvey.Report.pdf

Zhang, L., & Chen, L. (2021). *Cloud data center network architectures and technologies*. CRC Press. https://www.routledge.com/Cloud-Data-Center-Network-Architectures-and-Technologies/Zhang-Chen/p/book/9780367695705

Tentang Penulis



Onno W. Purbo, saat ini bertugas sebagai rektor di Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS). Onno memperoleh gelar Ph.D bidang Electrical Engineering dari University of Waterloo, Canada, adalah seorang copyleft, educator dan ICT evangelist. Dia sudah mempublikasikan 50++ buku, termasuk free ICT ebook untuk sekolah tahun 2008. Beberapa buku terakhirnya adalah "Internet-TCP/IP: Konsep Dan Implementasi", 2018; "Sistem Operasi, Konsep Dan Membuat Linux OpenWRT Dan ROM Android", 2019; "IPv6 Untuk Mendukung Operasi Jaringan Dan Domain Name System", 2019; "Kubernetes untuk Pemula", 2024 dan "Membuat Operator Seluler 5G Sendiri", 2024.

Dia memimpin sambungan pertama Internet di Institut Teknologi Bandung, tahun 1993-2000, dan menggunakannya untuk membuat jaringan Internet pendidikan yang pertama di Indonesia. Dia membebaskan frekuensi WiFi, memperkenalkan RT/RW-net, antenna Wajanbolic dan jaringan selular OpenBTS dan private 5G sendiri. Dia memimpin jaringan telepon pertama di atas Internet, VoIP Merdeka, yang kemudian hari dikenal sebagai VoIP Rakyat berbasis SIP dan menggunakan kode area +62520 dan +62521. Dia saat ini aktif memperkenalkan e-Learning, dan menjalankan server e-Learning di http://lms.onnocenter.or.id/moodle/ 66,000++ siswa / mahasiswa dan https://opencourse.itts.ac.id 39.000+ mahasiswa secara gratis. Email: onno@indo.net.id